
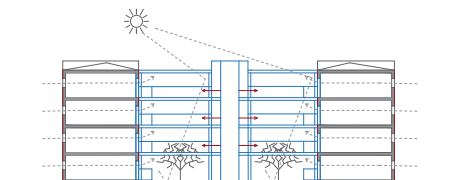


# ***ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS. CASO DE ESTUDIO: EDIFICACIÓN EN LA VILLA DE AVILÉS***

 UNIVERSIDAD DE A CORUÑA  
ESCUELA UNIVERSITARIA DE ARQUITECTURA TÉCNICA  
MÁSTER EN TECNOLOGÍAS DE LA EDIFICACIÓN SOSTENIBLE

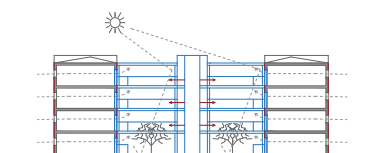
TUTOR: D. SANTIAGO PINTOS PENA  
ALUMNA: INÉS RODRÍGUEZ MARQUÉS



<b>INDICE</b>	
<b>APARTADOS PREVIOS</b>	<b>3</b>
INTRODUCCIÓN	4
AGRADECIMIENTOS	6
RESUMEN	7
JUSTIFICACIÓN	8
ESTADO DEL ARTE	9
ESQUEMA DEL TRABAJO	12
OBJETIVOS	13
<b>ANÁLISIS Y PREPARACIÓN</b>	<b>14</b>
ARQUITECTURA POPULAR ASTURIANA	15
TIPOLOGÍAS ARQUITECTÓNICAS	15
HISTORIA DE AVILÉS	19
BARRIO DE LA TEXERA, AVILÉS.	22
ESTRATEGIAS PASIVAS	31
RECOMENDACIONES EN INVIERNO	33
RECOMENDACIONES EN VERANO	35
LOS NZEB	39
LA VIVIENDA COLECTIVA	41
CONFORT USUARIOS	47
ESTUDIO DEL CLIMA	55
<b>INVESTIGACIÓN Y SIMULACIÓN</b>	<b>60</b>
METODOLOGÍA	61
ESTUDIO PREVIO	62
PRINCIPIOS EN LOS QUE SE BASAN LOS PROGRAMAS DE SIMULACIÓN	62
PROGRAMAS DE SIMULACIÓN ANALIZADOS	80
EL ÁBACO PSICOMÉTRICO	85
ARCHIVO BIOCLIMÁTICO	96
SIMULACIONES CON ENVI-MET	105
PASOS A SEGUIR PARA TRABAJAR CON ENVI-MET	105
PROBLEMAS ENCONTRADOS EN ENVI-MET BASIC	112
SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS ENCONTRADOS	114
ANÁLISIS DE LOS DATOS APORTADOS POR ENVI-MET	117
CONCLUSIONES DE LA SIMULACIÓN	143
HIPÓTESIS DE BARRIO COMPLETO	144
HIPÓTESIS INVIERNO	145
HIPÓTESIS VERANO	150

CONCLUSIONES HIPÓTESIS	155
ESTUDIO DE PROPUESTAS	156
PROPUESTA REGENERACIÓN DEL BARRIO	157
PROPUESTA BLOQUE	161
3D PROPUESTA	165
VALORACIÓN ECONÓMICA	170
CONCLUSIONES	171
CONCLUSIONES FINALES	172
ASPECTOS FORMALES	173
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	174
ANEXOS	180
VIDEO 3D PROPUESTA DE BARRIO	180
EMAIL – SIMULATION STEP	180
INVENTARIO DE ARBOLES ENCONTRADOS EN ENVI-MET	180
RESULTADOS SIMULACIÓN ZONA 1	180
RESULTADOS SIMULACIÓN ZONA 2	180
RESULTADOS SIMULACIÓN ZONA 3	180

*APARTADOS PREVIOS*





## INTRODUCCIÓN

¿Que entendemos como arquitectura pasiva?

Podemos definir arquitectura pasiva como el tipo de arquitectura que pretende analizar y estudiar el medio con el fin de conseguir un diseño lo más eficiente posible, ahorrando recursos y aprovechando aquellos que se encuentren alrededor.

Con todo ello lo que pretende conseguir principalmente es el confort de los usuarios que disfrutan de las edificaciones, ya que estas se realizan con ese fin, y no tendría sentido su realización sin prestar atención a la función a la que van a ser destinadas y a las personas.

Pero estas cuestiones que parecen algo esencial a tener en cuenta en una edificación, actualmente difieren de la realidad. El estudio del entorno, clima, orientación de la vivienda o utilización de materiales abundantes cercanos, han sido estrategias utilizadas en la arquitectura popular olvidadas en estos tiempos.

Con la arquitectura vernácula podemos aprender técnicas constructivas para enfrentarnos a los problemas de la manera más efectiva posible y siempre intentando ahorrar recursos.

Si a esto le añadimos las nuevas herramientas informáticas y tecnológicas que tenemos hoy en día a nuestro alcance, como son los programas de simulación que nos permiten observar que puede ocurrir en la edificación, ayudar a escoger una serie de medidas y predecir el comportamiento de los elementos, conseguiremos edificios de consumo casi nulo cumpliendo con todas las necesidades que las personas demanden de ellos.

Quisiera señalar una frase del arquitecto brasileño Oscar Niemeyer, que se encuentra vinculado con la Villa y dice lo siguiente:

“La intuición ocupa siempre un lugar a la hora de resolver en la búsqueda de una forma cualquiera. Cada obra es distinta, a veces la solución la trae el estudio, otra llega de súbito, en un chispazo. Pero siempre está la intuición. ”

“Intuition always takes place when seeking to resolve in any form. Each piece is different, sometimes the solution brings the study, other comes suddenly, in a flash. But always intuitive. ”

“Intuição sempre acontece quando se procura resolver de qualquer forma. Cada peça é diferente, às vezes a solução traz o estudo, outros vem de repente, num piscar de olhos. Mas sempre intuitiva. ”

En este trabajo nos centramos en el estudio de la Villa de Avilés, situada al Norte de España en el Principado de Asturias, en la desembocadura de la Ría que lleva el mismo nombre.

Se compone de un casco antiguo formado por un conjunto histórico artístico de palacios, casas de nobles, iglesias, plazas y calles destacando el Palacio del Marqués de Ferrera (actualmente hotel), Palacio de Campo Sagrado (considerado como el mejor ejemplo de arte barroco de Asturias, hoy alberga la sede de la Escuela Superior de Arte del Principado de Asturias) ... y el nuevo Centro Oscar Niemeyer. Pero también se destaca principalmente por la gran industrialización, iniciada en el siglo XIX, por la Compañía Asturiana de Minas y la comercialización en el puerto de Avilés.

Con todo ello la industria se consolidó en los años cincuenta con tres grandes industrias como son: la siderurgia ArcelorMittal, Cristalería Española (perteneciente al grupo Saint Gobain) y Alcoa (empresa nacional de aluminio). (Fernández Molina & González Moriyón, 1994)



*Ilustración 1: izquierda vista aérea de Avilés en 1961; fuente: Editorial Prensa Asturiana. Derecha, vista de la ría y centro Niemeyer; fuente autor.*

Este desarrollo empresarial protagonizó el crecimiento de la ciudad que se expandió naciendo los barrios de Versailles, La Luz o Llaranes. Destinados a albergar tanto a los trabajadores como a sus familias.

Actualmente estos barrios siguen existiendo, pero sus características no han variado desde su construcción, quedando actualmente desactualizados sin ajustarse a las necesidades que, a día de hoy, demandan los usuarios.

Por ello coincidiendo con financiación de los Fondos Feder se pretenden aplicar medidas energéticamente sostenibles que mejoren el estado actual de estos barrios, y con el análisis llevado a cabo en este trabajo poder realizar un estudio que permita escoger aquellas medidas que lleven a una eficiencia energética, así como las necesidades demandadas, al extremo posible que nos permita el barrio estudiado.

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer este trabajo, en primer lugar, a todos aquellos que me han apoyado y aconsejado a tomar importantes decisiones a la hora de continuar mi trayectoria académica y profesional durante el proceso.

En segundo lugar, también agradecer al Ayuntamiento de Avilés la disponibilidad en todo momento para la obtención de cualquier tipo de información y ayuda que pudiese necesitar, así como la realización de las prácticas curriculares.

En último lugar, y por supuesto, a mi tutor de Trabajo Fin de Máster que en todo momento se ha preocupado de guiarme de la manera más práctica y didáctica a través del recorrido que supone la realización de este estudio y que me ha permitido profundizar en áreas de conocimiento que considero de vital utilidad para conseguir tanto un desarrollo sostenible como del confort de los usuarios de la edificación.

## RESUMEN

El presente trabajo pretende analizar y estudiar aspectos de un conjunto edificatorio -caso de estudio- situado en la Villa de Avilés, Principado de Asturias, basándose siempre en la mejora del confort de los usuarios que disfrutan del mismo.

En cuanto a los elementos desarrollados nos encontramos primero con una investigación sobre la arquitectura vernácula o popular, análisis del clima de la zona, que entendemos por confort y sus variables (profundizando en el ábaco psicométrico) y el barrio de estudio. Estos aspectos, nos permitirán, posteriormente, escoger una serie de estrategias pasivas, basándonos también en ejemplos que ayuden a mejorar las condiciones de confort y sostenibilidad sobre la edificación como el conjunto.

Así como su modelización la cual permitirá simular y obtener datos sobre diferentes parámetros que influyen en lo anteriormente descrito para proporcionar una mejora global e individual a los problemas encontrados.

## Abstract

The present work aims to analyse and study aspects of building group –study case - in the Village of Aviles, Principado de Asturias, always based on the improvement of the comfort of users who enjoy the same.

In terms of the developed elements, at first, we develop the research on popular or vernacular architecture, the area analysis of the climate, what we mean by comfort and its variables (deepening into the abacus psychometric) and the industrial district. These aspects, allow us, to choose different series of passive strategies, based on examples that help to improve the confort conditions and sostenibiliti in building and the district.

As well as its modelling which permits simulate and have data of differents paramethros which have influence in the description before to propose a global and individual improvement about the problems that it was found

## Palabras clave

Arquitectura popular asturiana

Avilés

Envi-met

Arquitectura pasiva

Barrio industrial

## Key words

Asturian popular architecture

Aviles

Envi-met

Passive architecture

Industrial district

## JUSTIFICACIÓN

Se plantea el estudio de la arquitectura pasiva, metodología que permite analizar aspectos como el clima, orientación o aprovechamiento de los recursos cercanos de la manera más eficiente posible.

En este caso el tema o lugar sobre el que se va a desarrollar es la Villa de Avilés, situada al Norte de España en el Principado de Asturias.

Es de especial interés la investigación y análisis de este lugar ya que ha recibido una subvención de los Fondos Feder con el fin de implementar medidas de mejora sostenible como son:

1. Mejorar la eficiencia energética de las instalaciones de alumbrado público.
2. Eficiencia energética edificios públicos.
3. Plan Piloto Biomasa.
4. Rehabilitación de las antiguas viviendas para contribuir así al rejuvenecimiento de los barrios de la expansión industrial de Avilés, (Versalles, La Luz, Llaranes...)

En nuestro caso nos fijaremos en los objetivos 3 y 4 donde el estudio de la arquitectura pasiva es de gran utilidad y puede dar solución a estos problemas.

## ESTADO DEL ARTE

Primero se realizarán una serie de estudios como:

- La arquitectura popular asturiana, centrando este apartado en la zona de análisis, lo que nos permitirá conocer técnicas utilizadas o en desuso que puedan servir de ejemplo o mejora de las condiciones de confort.
- Contexto histórico, barrio, materiales utilizados, técnicas constructivas.
- La arquitectura pasiva como fuente de estrategias en función de las necesidades, así como los beneficios que estas proporcionan, basándose en la Guía de Arquitectura Pasiva, estudiándola y buscando aquellas soluciones que creamos más oportunas a la hora de su implementación.
- Edificaciones de consumo casi nulo en la actualidad.
- Análisis de la vivienda colectiva, influencia y características, por medio de la lectura del libro "PLUS LA VIVIENDA COLECTIVA". La influencia de la actualización y transformación de estos espacios y cómo influyen en diferentes aspectos, tanto sociales, económicos como medioambientales.



Ilustración 2: la vivienda colectiva. Fuente: autor.

- Condiciones climáticas, mediante datos obtenidos a través de AEMET y el Gobierno del Principado de Asturias, de la climatología del lugar, también tendremos en cuenta los estudios relacionados con la arquitectura vernácula de la Villa de Avilés (el desarrollo de la zona, los factores principales que han influido en la arquitectura de esta, su crecimiento económico e industrial).



Ilustración 3: imágenes obtenidas de los documentos climáticos analizados. Fuente: autor.

- Análisis de los principios físicos que influyen en las condiciones de confort de los usuarios y se basan los programas de simulación que se aplican hoy en día para analizar e intentar dar soluciones a problemas en función de los datos exportados. En este trabajo, se realiza la simulación a partir de un programa que analiza diferentes aspectos basándose en la dinámica de fluidos computacionales CFD.

Analizando los siguientes parámetros:

1. Viento.
2. Temperaturas de aire.
3. Humedad específica.
4. Radiación: directa, reflejada y difusa.
5. Contaminación.

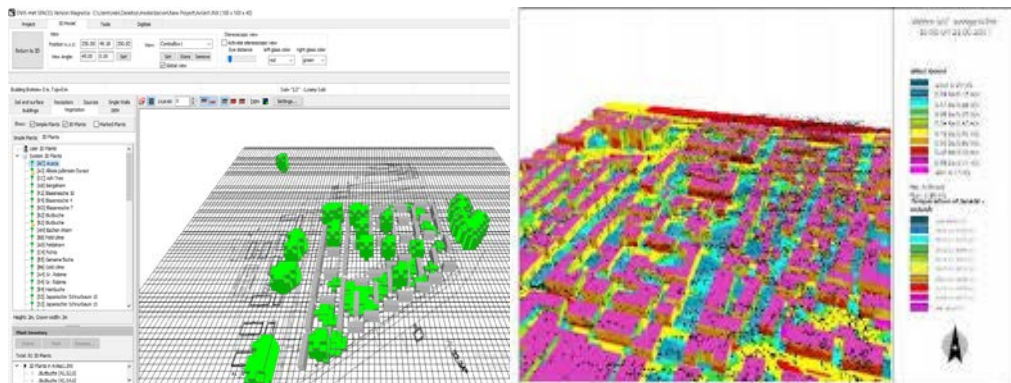


Ilustración 4: izquierda: modelado del barrio; fuente autor. Derecha: modelo 3D y valores sobre temperatura y viento. Fuente: envytEddi

Cabe destacar, que mediante la utilización de esta herramienta informática se ha llevado a cabo un sistema de prueba – error hasta conseguir lograr unos resultados que se puedan analizar e incluso plantear hipótesis.

- Por otro lado, con el fin de conseguir y entender mejor las condiciones interiores y como estas afectan, se investigará sobre la relación entre el confort y el ábaco psicométrico, de manera cuantitativa, completando estudios previos realizados, ayudándonos de estos, así como de normas UNE y el CTE.

En este paso se ha utilizado la herramienta Elements, que nos permite modificar el archivo EPW en función de parámetros como la localización o distancia al mar y el software Climate Consultant mediante el cual analizamos el archivo por medio de gráficas como el ábaco psicométrico y nos permite cuantificar la demanda (de refrigeración o calefacción) e incluso, las aportaciones que producen las mejoras, dependiendo de la zona de estudio.

Aviles.edw - Elements

File Edit Tools View Window Help

Site Name: Aviles  
Latitude (degrees): 43.35 Longitude (degrees): -5.65  
Time Zone: 1 Elevation (m): 127

Tools: Offset Scale Normalize Normalize By Month

Variables to Hold Constant:

Date/Time	Dry Bulb Temperature [C]	Wet Bulb Temperature [C]	Atmospheric Pressure [kPa]	Relative Humidity %	Dew Point Temperature [C]	Global Solar [W/m <sup>2</sup> ]	Normal Solar [W/m <sup>2</sup> ]	Diffuse Solar [W/m <sup>2</sup> ]	Wind Speed [m/s]
1989/01/01 @ 00:00:00	8.3	7.02	100.92	84	5.70	0	0	0	0.4
1989/01/01 @ 01:00:00	8.3	7.02	100.92	84	5.70	0	0	0	0.2
1989/01/01 @ 02:00:00	7.8	6.78	100.92	87	5.75	0	0	0	0.1
1989/01/01 @ 03:00:00	7.8	6.78	100.92	87	5.75	0	0	0	0.4
1989/01/01 @ 04:00:00	7.8	6.78	100.92	87	5.70	0	0	0	0.3
1989/01/01 @ 05:00:00	7.2	6.44	100.92	90	5.08	0	0	0	0.4
1989/01/01 @ 06:00:00	6.7	6.33	100.92	95	5.98	0	0	0	0.5
1989/01/01 @ 07:00:00	6.1	6.1	100.92	100	6.12	0	0	0	0.3
1989/01/01 @ 08:00:00	6.1	6.1	100.92	100	6.12	0	0	0	0.3
1989/01/01 @ 09:00:00	6.7	6.55	100.92	90	6.43	56	0	56	0.2
1989/01/01 @ 10:00:00	7.2	7.05	100.92	88	6.93	119.41	184	85	0.4
1989/01/01 @ 11:00:00	8.9	8.09	100.92	90	7.38	232.76	429	98	0.2
1989/01/01 @ 12:00:00	10	8.64	100.92	84	7.45	321.82	583	101	0.1
1989/01/01 @ 13:00:00	11.1	9.23	100.92	79	7.63	316.71	436	143	0.2
1989/01/01 @ 14:00:00	12.2	9.78	100.92	74	7.74	239.51	223	156	0.4
1989/01/01 @ 15:00:00	12.2	9.78	100.92	74	7.74	206.02	242	132	0.2
1989/01/01 @ 16:00:00	11.7	9.5	100.92	77	7.83	159.35	350	99	0.3
1989/01/01 @ 17:00:00	11.1	9.32	100.92	80	7.91	0	0	0	0.3
1989/01/01 @ 18:00:00	10.6	9.03	100.92	82	7.55	0	0	0	1.7
1989/01/01 @ 19:00:00	9.4	8.41	100.92	88	7.54	0	0	0	3.7
1989/01/01 @ 20:00:00	8.9	8.09	100.92	90	7.38	0	0	0	2.1
1989/01/01 @ 21:00:00	8.9	8.01	100.92	89	7.21	0	0	0	2.5

Columns: Add Remove Move Left Move Right

Units: C SI F

Ilustración 5: captura de pantalla del programa Elements. Fuente: propia.

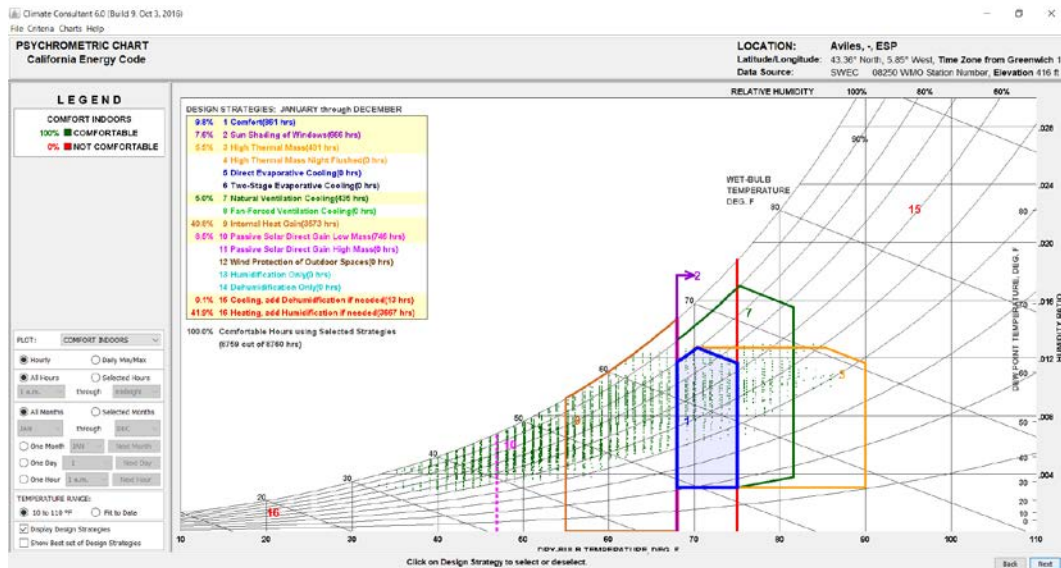
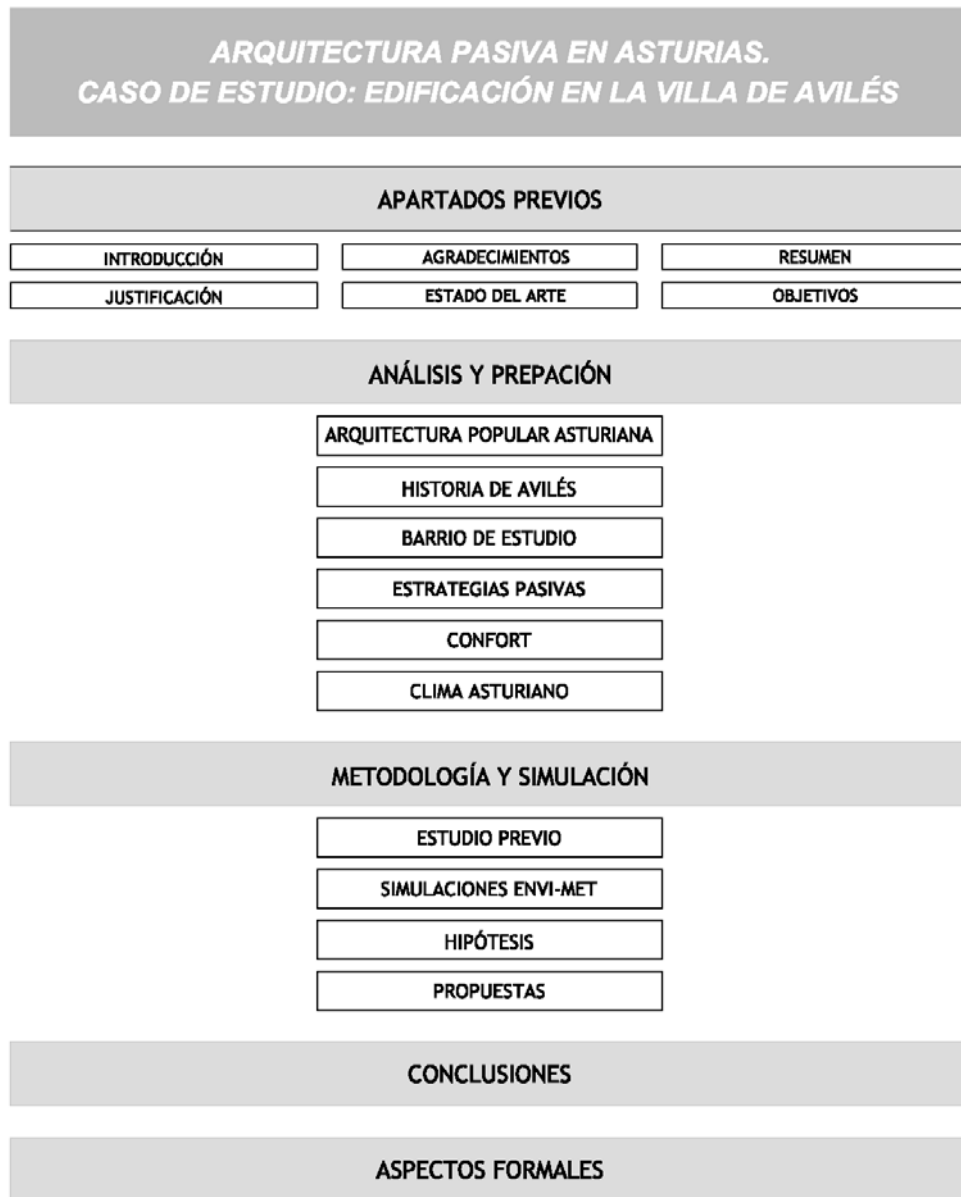


Ilustración 6: imagen de los datos arrojados por el ábaco en el programa Climate Consultant. Fuente: propia.

Para finalmente analizar todo lo estudiado y realizar las propuestas que mejor se ajusten al barrio.



## ESQUEMA DEL TRABAJO



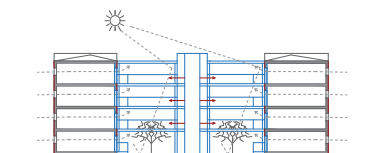
## OBJETIVOS

El principal objetivo que se persigue con la realización de este trabajo fin de Master es el de conseguir unas mejoras en torno al confort de los usuarios de la edificación y al conjunto de edificaciones de estudio con la implementación de estrategias pasivas para cada bloque de viviendas y el conjunto del barrio.

Por otro lado, existen una serie de objetivos secundarios como:

1. Estudio de la arquitectura vernácula: la cual nos ayuda a entender o enseñar las necesidades y como aprovechar los recursos que se encuentran al alcance.
2. Caso de estudio: el objetivo es analizar un barrio asturiano que tiene un cierto interés, en este caso será el barrio de "La Texera" conocido como el "Tocarate".
3. Ligado al anterior, aparece el objetivo de poder satisfacer o ayudar a la mejora de la Villa de Avilés, que ha recibido una subvención europea proveniente de los Fondos Feder para cometer medidas de mejora en cuanto a eficiencia energética y accesibilidad, entre otros objetivos.
4. Estudio de la arquitectura pasiva: con el fin de obtener medidas que se puedan implementar tanto en la edificación objeto, como en las posibles investigaciones que se puedan llevar a cabo en la zona.
5. Estudio del clima: en la zona de análisis, para entender las principales necesidades que puedan tener los usuarios.
6. Estudio del ábaco psicométrico: desde un punto de vista analítico y práctico, profundizando en el análisis de las variables que lo conforman y cómo influyen estas en la denominada zona de confort.
7. Modelización del barrio de estudio: mediante esta conseguimos poder cuantificar y comprender como influyen las características de este, climatología y tipologías.
8. Conclusiones: reflexionar acerca del estudio llevado a cabo y comprobar que los objetivos secundarios contribuyen al fin común.

## *ANÁLISIS PREVIO Y PREPARACIÓN*



## ARQUITECTURA POPULAR ASTURIANA

Este capítulo es fundamental si queremos mejorar las condiciones de confort y ahorro de energía, ya que gracias al estudio de la arquitectura popular se pueden aprender técnicas, saber que materiales se utilizaban (debido a su abundancia y propiedades), así como otros conocimientos populares que actualmente pueden estar en desuso.

El conocimiento del medio se hace necesario, así como su arquitectura tradicional ya que estos conceptos vienen muy ligados si hablamos que, mediante la utilización de ciertas estrategias, hace no muchos años se conseguía optimizar las pérdidas o ganancias energéticas en función de las necesidades.

**La arquitectura vernácula es la base o cimientos de lo que actualmente conocemos como arquitectura pasiva.**

Para poder analizar este concepto primero debemos entender que significa como tal la arquitectura vernácula o popular;

*“Se trata de un conjunto de construcciones que surgen de la implantación de una comunidad en su territorio y que manifiestan en su diversidad y evolución su adaptación ecológica, tanto a condicionantes y recursos naturales, como los procesos históricos y modelos socioeconómicos que se hayan desarrollado en cada lugar. Constituyen un destacado referente entre las señas de identidad culturales de la comunidad que la ha generado, y que es el resultado de experiencias y conocimientos compartido, transmitidos y enriquecidos de una generación a otra.”*

*Plan Nacional de Arquitectura Tradicional.*

Como hemos visto, a la hora de realizar la descripción de la arquitectura popular en Asturias debemos tener en cuenta la localización, paisaje, condiciones naturales y sociales que crean modificaciones en la arquitectura popular de la región habiendo diferencias significativas dentro de esta.

Por ello nos vamos a centrar en el área urbana central para comprender sus características. A esta área se le conoce como ámbito urbanizado presentando en común:

1. Patrimonio urbano
2. Arqueología industrial y de obra pública, la gran tradición avilesina industrial.
3. Prerrománico
4. Centros urbanos históricos.
5. Culturas del trabajo
6. Referentes naturales connotados, en nuestro caso de estudio la ría de Avilés.
7. Lugares connotados por la literatura y el arte

## TIPOLOGÍAS ARQUITECTÓNICAS

En estos lugares se desarrolló la casa vecindad, tipología arquitectónica más significativa del siglo XIX. Creando los nuevos ensanches la construcción de edificios de viviendas destinadas a alquiler por pisos promovidos por la burguesía. (De la Madrid & De la Madrid, 2002)

Esto supuso la creación de unos sectores especializados en fabricación en serie desde elementos estructurales metálicos (laminados como fundición, pilares, viguetas, columnas...) y elementos complementarios como balcones, barandillas, cocinas... Ocurriendo también en los materiales cerámicos (baldosas, rasillas, tejas, ladrillos, ...) (Alonso Pereira, 1996) y sin

olvidar la importancia de la piedra artificial que podía crear elementos ornamentales de fachada más económicamente.

La ciudad burguesa está determinada por estas construcciones debido al protagonismo que se da a la arquitectura doméstica que hasta entonces no se había contemplado como tipología ni labor arquitectónica.

En contra consecuencia a este tipo se hace presente la vivienda obrera urbana, caracterizada por la falta de salubridad, hacinamiento y segregación espacial.

Estos aspectos deben de contemplarse, ya que son muy relevantes en el caso de estudio, debemos entender el porqué de estas construcciones y su tipología, así como los materiales empleados. (De la Madrid & De la Madrid, 2002)



*Ilustración 7: calle Rivero, edificaciones cotidianas. Fuente: autor.*

## FORMAS Y DIMENSIONES

Las formas habituales de las viviendas que nos encontramos son sobre planta rectangular con cubiertas generalmente a dos aguas y orientación simétrica de los vanos. En general bajo el faldón central de la cubierta se dispone un gran corredor volado sobre las viguetas del piso inferior.

Otras veces el corredor se dispone situado entre los muros machones o contafuegos laterales en casas adosadas. (De la Madrid & De la Madrid, 2002)

## MATERIALES

Los materiales más usados en la zona, debido su abundancia, son los siguientes:

1. Piedra natural formada por mampuestos
2. Piedra artificial: hormigón y sus variantes
3. Madera: destacando el castaño y roble
4. Cerámica: utilizada como material de cubrición y acabados

5. Elementos metálicos ya sean de fundición o laminados. (Fernández Molina & González Moriyón, 1994)



*Ilustración 8: Plaza de San Nicolás, Avilés. Fuente: autor.*

## ESTRUCTURA

Principalmente en la arquitectura tradicional centro urbana asturiana la estructura se componía principalmente por las siguientes características:

1. Cimentación: zapatas corridas a base de materiales pétreos y morteros de cal las cuales transmitirán las cargas provenientes de la estructura al terreno. En terrenos blandos, incluso se rellenaba con cantos o mampuestos como asiento.
2. Estructura vertical: las construcciones suelen formarse por muros de cargas perimetrales, que a su vez constituían el cerramiento de mampostería, normalmente



*Ilustración 10: corredores tradicionales, calle Galiana. Fuente: autor.*



en una sola crujía. Utilizándose la arcilla amasada con arena, e incluso mezclada con cal para buscar la adherencia. El espesor normal de estos muros varía entre 70 y 90 cm. (Alonso Pereira, 1996) En construcciones con altura vemos como el muro va disminuyendo su espesor paulatinamente.

Otro de los elementos estructurales verticales que nos encontramos son los pies derechos de madera maciza principalmente de roble y castaño, aunque también de pino.

3. Estructura horizontal: esta se basa principalmente en vigas de madera maciza emplazadas en los muros de mampostería y pontones enclavados a las vigas. Encima se colocan tableros de madera que realizan la función de acabado.

### CUBIERTAS

En general las cubiertas que más abundan en esta área son las cubiertas a dos aguas y con pendientes que giran en torno al 40%. Siendo el material de cobertura predominante la teja cerámica árabe.

Es recurrente la prolongación del faldón frontal acogiendo en el mismo el corredor. (Alonso Pereira, 1996)

### HUECOS

Los huecos principalmente se sitúan en las fachadas principales y orientadas al sur. La carpintería suele ser de madera, posteriormente predominando el aluminio y acero debido a la fuerza de la industria siderúrgica en el entorno. (Alonso Pereira, 1996)

### CORREDORES Y GALERÍAS

Los corredores son el empleo más frecuente y representativa de la tradición local asturiana, dispuestos sobre la prolongación de las vigas del forjado inferior. La situación del corredor es también aprovechada para facilitar el acceso a la vivienda.

En viviendas que se encuentran entre medianeras, se pueden ver varios casos en el concejo, asociadas para la formación de un portal inferior o para alojar el comercio.

Las galerías son otro elemento a destacar en la arquitectura del lugar, ya que suelen ocupar todo el frente del corredor y cerrarse con ventanas tipo guillotina, son sistemas representativos de taller de las villas. (Alonso Pereira, 1996)



Ilustración 11: Ejemplos de galerías y corredores asturianos. Fuente: autor.

## HISTORIA DE AVILÉS

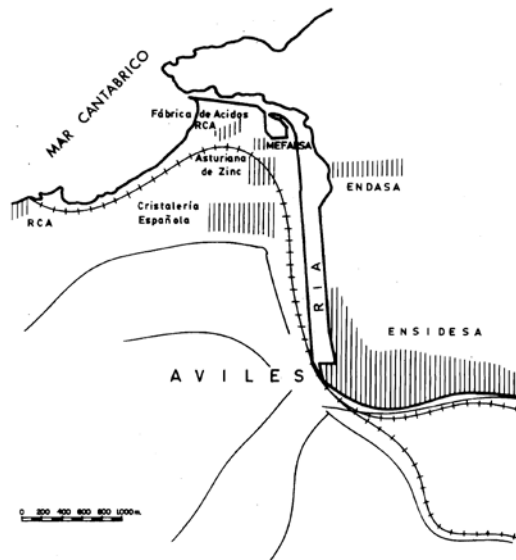
Para comprender y analizar el barrio que pretendemos estudiar primero debemos conocer su historia y como el fenómeno de las actividades industriales transformaron el espacio geográfico de la Villa.

La llegada de la industria desencadena una serie de fenómenos en el cambio de las actividades, de disposición de la población, el uso del suelo, etc.

### DÉCADA DE LOS 1950-60

Avilés es en conjunto con Gijón y Oviedo uno de los tres núcleos metropolitanos más importantes de la región, siendo la segunda ciudad industrial. Resumiéndose, la tipología de los establecimientos industriales, asentados al largo de la ría de Avilés, en tres grupos (Morales, 1980):

1. La gran planta siderúrgica integral de ArcelorMittal, conocida como ENSIDESA.
2. Un grupo de cinco fábricas de tamaño medio: destacando, Asturiana de Zinc, Cristalería Española y Empresa Nacional de Aluminio.
3. Instalaciones de escasa entidad industrial, talleres mecánicos, fábricas alimentarias, etc.



*Ilustración 12: localización de los centros fabriles más importantes.  
Fuente: Industrialización y crecimiento urbano en Avilés. Guillermo Morales.*

### INCIDENCIA DE ARCELORMITTAL EN LA TRANSFORMACIÓN DEL ESPACIO.

La adquisición del carácter de ciudad industrial se produce en 1950 cuando la Empresa Nacional Siderúrgica (ENSIDESA, ahora ArcelorMittal), asienta sus instalaciones al margen derecha de la ría. Presentando los rasgos de una operación dirigida al crecimiento económico y social (Morales, 1980).

Sin embargo, la llegada de ENSIDESA, cuyas edificaciones y zonas de servidumbre fueron cinco veces mayores que el espacio urbanizado de Avilés, provocaron un caos urbanístico y poblacional.

Apareciendo los llamados poblados obreros, dispuestos, algunos de ellos a varios kilómetros del casco urbano, y próximos a la fábrica. El alza de los solares en el centro y perímetro urbano tras la llegada de la industria provocó la centrifugación de los albergues destinados al proletariado. Intentando el Plan de Ordenación Urbana de 1956 poner remedio, pero las



dificultades de financiación y nula articulación sobre el que operaba se lo impidieron (Morales, 1980).

Actualmente cuando paseas por el centro de la Villa se puede apreciar como este no a "sentido" la industrialización, conservando antiguas viviendas tradicionales, palacios, la muralla medieval etc.

#### ÁREA DE RECLUTAMIENTO DE LOS TRABAJADORES DE ENSIDESA

Según las fuentes la Empresa Nacional Siderúrgica contaba en diciembre de 1975 con aproximadamente unos 24.000 trabajadores, viviendo en Avilés casi dos terceras partes (casi 15.000 personas) (Morales, 1980).

Distribuyéndose según su categoría como podemos apreciar en el siguiente diagrama:

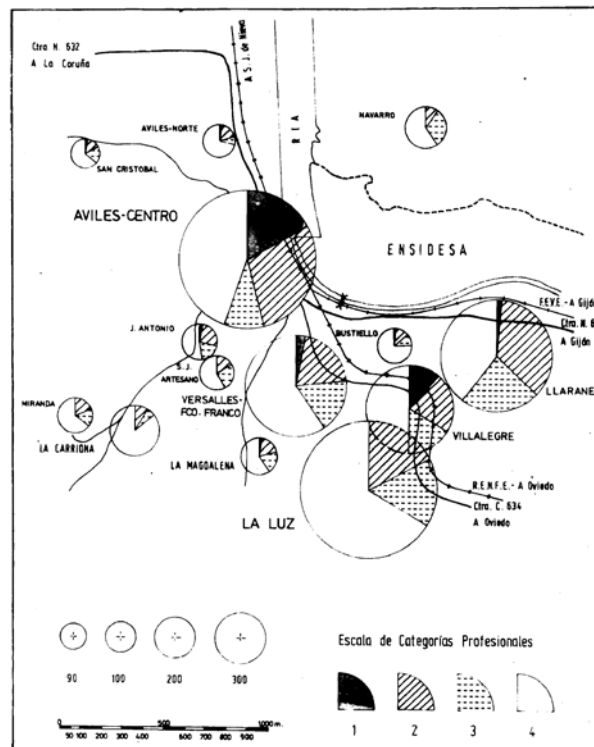


Ilustración 13: localización residencial en el municipio de Avilés de los trabajadores de ENSIDESA.  
Fuente: Industrialización y crecimiento urbano en Avilés. Guillermo Morales.

Siendo, según la escala de categorías profesionales:

1. Cuadros técnicos superiores y personal directivo.
2. Cuadros técnicos medios, jefes de sección y maestros industriales,
3. Obreros cualificados.
4. Obreros sin cualificar.

En cuanto al poblado de estudio, Poblado de Francisco Franco/ La Texera, representaba el 9,30% (aproximadamente unas 1.355 personas) de los empleados de la siderurgia (Morales, 1980).

#### TIPOLOGÍA DE LOS NÚCLEOS DE POBLACIÓN OBREROS

Son núcleos concebidos directa o indirectamente por la empresa para la ubicación de sus trabajadores.

La tipología de viviendas es predominantemente en bloques con planta rectangular, dejando entre ellos pequeños espacios comunes como jardines o patios.

Suelen predominar edificios de no más de cinco alturas, estructura de hormigón y fábrica de ladrillo. Cada planta se distribuye en dos viviendas y una zona común de relleno y escaleras.

En estos barrios predominan, además los espacios comunes destinados no solo a jardines, instalaciones deportivas, centros educativos, etc. De esta manera los empleados de las fábricas y sus familias podían disfrutar de todas las facilidades dentro de los mismos.

### BARRIO DE LA TEXERA, AVILÉS.

El barrio de "La Texera", más conocido como "El Tocarate", ha sido uno de los primeros barrios financiados por ENSIDESA, actual Arcelor Mittal, en el año 1954, para alojar a sus trabajadores junto con sus familias.

Generalmente los poblados se bautizaron adoptando el nombre del lugar: Llaranes, La Luz, La Carriona. Pero en el caso del barrio de estudio cuenta con una bonita historia a cerca de su nombre.

Ya que cuando se sorteaban los primeros pisos en el oficialmente nombrado como San José Artesano, pasó a ser conocido como 'El Tocote', porque la pregunta, por entonces angustiosa dada la carencia de vivienda, era:

*-¿Tocote el piso, nina?*

Mientras que en el poblado de Francisco Franco - La Texera, conocido popularmente como 'El Tocarate' para desespero de la autoridad política de la época. Y eso fue porque al ser construido después del anterior, el consuelo que se les daba a los que no habían conseguido vivienda en 'El Tocote' era:

*-Tranquilina 'tocarate' en el nuevo que están haciendo, tranquilina ... Ya verás.*

(Lo chocante de algunos nombres que se dan en Avilés, 2013)

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y CONSTRUCTIVAS DEL "LA TEXERA"

Al principio el barrio carecía de servicios, y las calles no se encontraban asfaltadas, realizándose su proyecto de urbanización en el año 1957 el cual incluía (Obra Sindical del Hogar y Arquitectura, 1995):

1. Farolas para el alumbrado eléctrico de las calles.
2. Realización de aceras, para tránsito de viandantes, y vías de circulación.
3. Red de alcantarillado.
4. Red para suministro de agua potable.
5. Red para suministro eléctrico para viviendas.



*Ilustración 14: Poblado de Francisco Franco, actual La Texera, en proceso de construcción.*

*Fuente: Obra Sindical del Hogar y la Arquitectura.*

Para poder analizar el barrio asignado para el estudio procederemos a describirlo:

El barrio de La Texera está compuesto por 55 bloques, cada uno de ellos formado por planta baja y tres alturas. Dividiéndose cada planta en dos viviendas, 8 viviendas por bloque, y el núcleo de escaleras.<sup>1</sup>

Pero, dependiendo para que tipo de familia estaban destinados nos podemos encontrar:

- 33 estaban destinados a familias estándar: la vivienda se formaba por una entrada, baño, tendedero, cocina, salón-comedor y tres habitaciones.
- 12 destinados a familias numerosas: la vivienda se formaba por una entrada, baño, tendedero, cocina, salón-comedor y cuatro habitaciones.

A partir de los datos aportados por tanto por el archivo del Ayuntamiento de Avilés como por el Archivo Histórico del Principado de Asturias podemos describir como estos bloques de viviendas se encuentran formados.

#### Cimentación

Mampostería hormigonada en zanjas, (Obra Sindical del Hogar y Arquitectura, 1995).

#### Estructura.

Formada por forjados tanto en los pisos como en la cubierta, siendo este último inclinado.

Se trata de una estructura de fábrica colocada a un asta o asta y media, (Obra Sindical del Hogar y Arquitectura, 1995).

#### Albañilería

En la fachada principal y la posterior se encuentra formada por: fábrica de ladrillo a media asta cara vista, cámara de aire y fábrica a media asta.

Los tabiques de separación interior se realizan con fábrica de ladrillo.

La separación medianera entre pisos se resuelve con fábrica de ladrillo y un muro de mampostería ordinaria.

El hueco de las escaleras se resuelve mediante fábrica a media asta, (Obra Sindical del Hogar y Arquitectura, 1995).

---

<sup>1</sup> Toda la información encontrada sobre los bloques de viviendas se basa en los proyectos de ejecución que se encuentran en el Archivo Histórico de Asturias, testimonios de personas que vivieron en ellos y una inspección visual realizada al barrio.



*Ilustración 15: Construcción de los bloques de viviendas.  
Fuente: Obra sindical del Hogar y la Arquitectura.*

### Cubierta

La cubierta se encuentra formada por un forjado cerámico, del mismo tipo que el forjado tipo, y se utiliza la teja cerámica árabe como material de cubrición, (Obra Sindical del Hogar y Arquitectura, 1995).

### Huecos

Los huecos exteriores están formados por:

- Ventanas de las viviendas: carpintería practicable y vidrio simple.
- Puerta de acceso al portal: carpintería practicable y vidrio simple.
- Celosía en el hueco de escaleras de hormigón translucido.



*Ilustración 16: A la derecha bloque tipo II (familia numerosa), mientras que a la izquierda bloque tipo I. Fuente: Obra sindical del Hogar y la Arquitectura.*

### Instalaciones

Cabe destacar que las instalaciones descritas son las realizadas en "proyecto", no se tienen datos ni documentos donde podemos saber si se ha producido algún cambio. (Obra Sindical del Hogar y Arquitectura, 1995)

- Canales de zinc para la recogida de agua
- Instalación de AF y ACS de gres.
- Instalación eléctrica

Como se puede ver estas viviendas carecen de calefacción, y por ello, una de las propuestas como medidas de mejora que se pretende implementar, gracias a los Fondos Feder, es la incorporar dos centrales de biomasa que satisfagan la demanda de ACS y calefacción del barrio.

### Acabados

Por último, los acabados en el interior de las viviendas son:

- Solados de baldosas cerámica hidráulica
- Guarnecidos y fratasados con acabados en pintura a la cal.

### Escaleras

- Peldaños de mármol comprimido.

### Exterior

- Fábrica de ladrillo cara vista
- Recercado de piedra artificial en la puerta exterior



*Ilustración 17: a la izquierda, bloque de viviendas finalizado, 1966.  
Fuente: Obra sindical del Hogar y la Arquitectura. A la derecha, bloque de viviendas en la actualidad. Fuente: autor.*



Fotografías del barrio en la actualidad





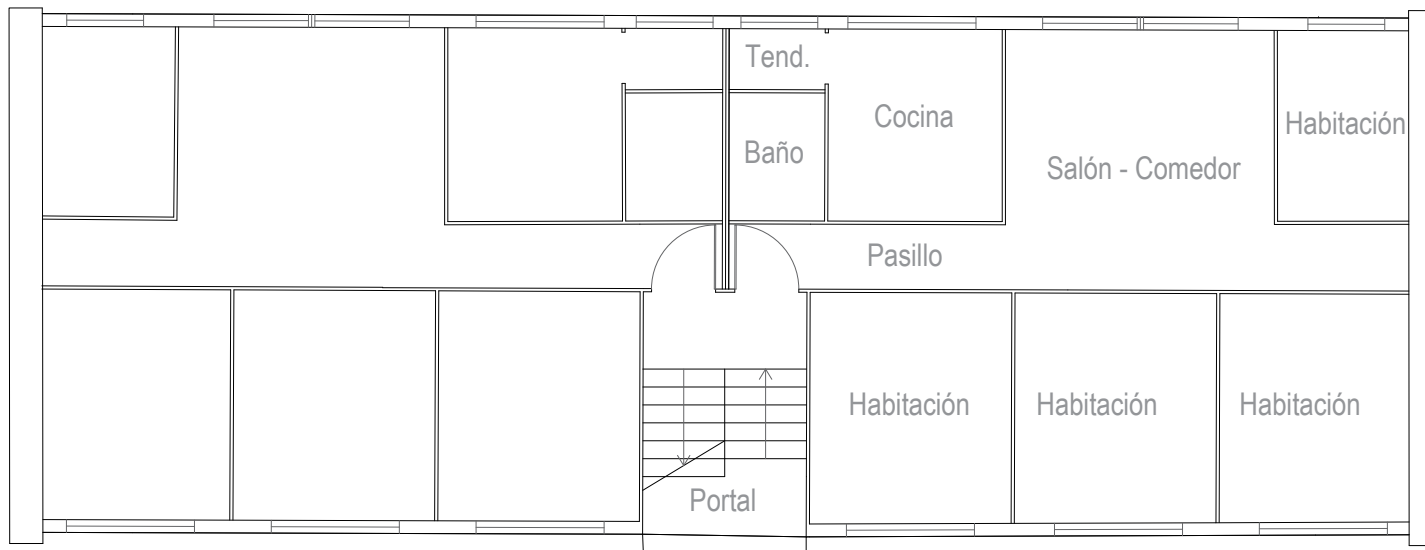






# Vivienda Tipo I

familias numerosas



## ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS

Caso de estudio: Edificación en la Villa de Avilés

Master Tecnologías de la Edificación Sostenible

Tutor: D.Santiago Pintos Pena

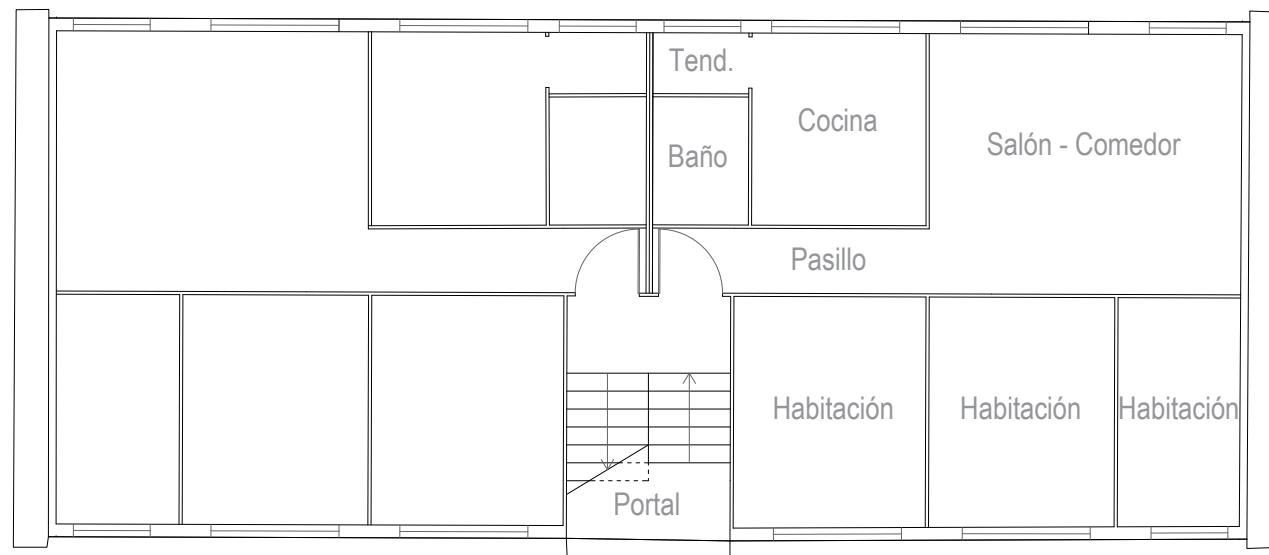
Alumna: Inés Rodríguez Marqués

EA1

ESCALA: 1:30



# Vivienda Tipo II



## ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS

Caso de estudio: Edificación en la Villa de Avilés

Master Tecnologías de la Edificación Sostenible

Tutor: D.Santiago Pintos Pena

Alumna: Inés Rodríguez Marqués

EA2

ESCALA: 1:30



## ESTRATEGIAS PASIVAS

Para entender las estrategias pasivas utilizadas en estos días con el fin de mejorar la eficiencia energética en una edificación nos podemos basar tanto en la arquitectura vernácula o sistemas como el Passihaush.

La arquitectura vernácula se aprovecha de todos aquellos factores que le rodea, ya sean geográficos o climáticos. Que dependen de los recursos naturales que se encuentren a su alrededor, según el momento, ubicación y corriente arquitectónica.

Pero siempre intentando facilitar el desarrollo de las actividades a las que se encuentran destinada mediante la correcta iluminación, temperatura, control de calidad del aire y ruido.

El objetivo principal del empleo de estas estrategias es el ahorro y eficiencia energética. Con el fin de evitar problemas medio ambientales y económicos.

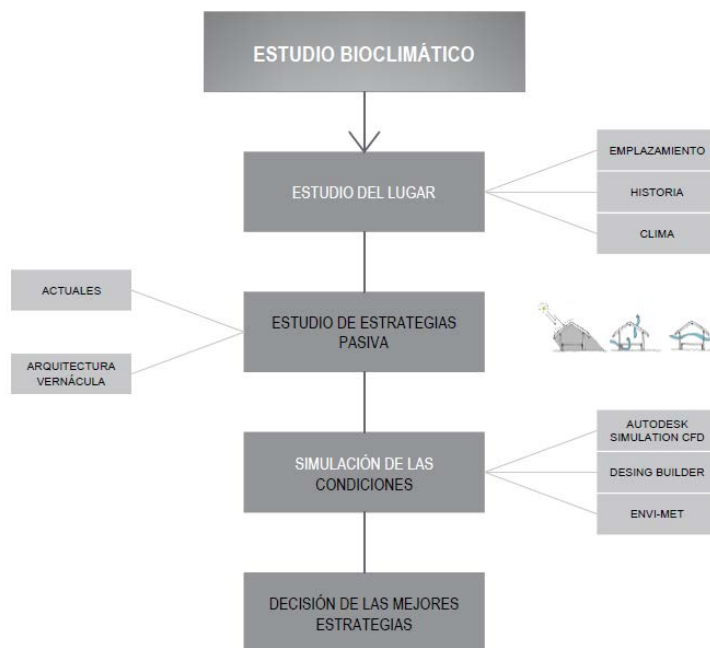
Desde un punto de vista medioambiental lo más frecuente que no encontramos es el agotamiento de recursos (combustibles fósiles, determinados materiales, destrucción de zonas verdes e incluso el problema que tienen actualmente muchas ciudades de cómo gestionar la cantidad de residuos que se generan); así como los gases de efecto invernadero.

Mientras que desde un punto de vista económico se trata de una herramienta de ahorro, reducción de la dependencia energética y competitividad.

Siempre teniendo en cuenta que estas medidas deberán de adaptarse al lugar de emplazamiento de la edificación, es decir:

1. Conocer las condiciones climáticas
2. Adaptabilidad al lugar donde se va a actuar
3. Aprovechamiento de los recursos y técnicas constructivas empleadas en la zona
4. Conocimiento de las estrategias pasivas
5. Conocimiento de las fuentes renovables

A modo de esquema, la forma de actuar sería:



Las estrategias pueden clasificarse según:

1. Estrategias generales
2. Estrategias de calefacción
3. Estrategias de refrigeración

Mediante esta tabla se realiza un resumen sobre las estrategias, beneficios y estrategias en función de necesidades que tengamos. (Guía de estrategias de diseño pasivo para la edificación, 2014)

#### ESTRATEGIAS GENERALES

DISEÑO GENERAL DEL EDIFICIO	CAPTACIÓN DE RADACIÓN SOLAR	Ubicación Forma Orientación
MEJORA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA	CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA ACUMULACIÓN TÉRMICA	Mejora del aislamiento térmico Fachadas ventiladas Cubiertas ventiladas Fachadas ajardinadas Vidrios y marcos con baja transmitancia térmica Fachadas y cubiertas con alta inercia térmica

#### ESTRATEGIAS DE CALEFACCIÓN

CALEFACCIÓN SOLAR	DIRECTA INDIRECTA	Ventanas y lucernarios Invernaderos y galerías acristaladas Muros captadores y acumuladores
-------------------	----------------------	---

#### ESTRATEGIAS DE REFRIGERACIÓN

PROTECCIÓN SOLAR	EXTERIOR EXTERNA INTERMEDIA INTERIOR	Corredores Pérgolas Persianas y contraventanas Vegetación Vidrios Especiales Estores, cortinas, persianas
VENTILACIÓN NATURAL	CRUZADA CON TIRO TÉRMICO INDUCIDA	Huecos Efecto chimenea Aspiración estática, efecto Venturi Torre de viento
TRATAMIENTO DEL AIRE	ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO REDUCCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL AIRE	Agua Vegetación Conductos enterrados Pacios Refrigeración nocturna

## RECOMENDACIONES EN INVIERNO

Las estrategias ligadas a la radiación solar en esta época podemos numerarlas en (Manual de Diseño Bioclimático Urbano, 2013):

- Asegurar la accesibilidad solar en espacios urbanos entre los meses de noviembre y abril.
- En base a la orientación que se disponga el espacio público se deberá acondicionar el ancho previsto en función de las alturas de los edificios colindantes que nos determinan el ángulo de obstrucción.
- Los espacios con orientaciones SE, S y SO, serán espacios confortables durante los meses de invierno y primavera.
- Los parques y jardines se deberán disponer en espacios con posibilidad de captación solar directa para favorecer el crecimiento y salud de las especies vegetales.
- Las zonas de actividades al aire libre y zonas infantiles deberán disponer de radiación solar directa por la mañana.
- En general las zonas estanciales deberán disponer de radiación solar directa durante las horas centrales del día

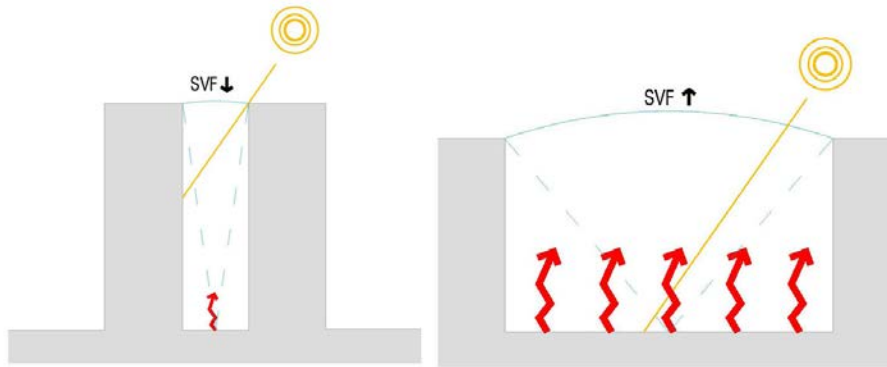


Ilustración 18: Ganancias de radiación directa de onda corta y pérdidas por radiación de onda larga en espacios urbanos con distintos SVF. Fuente: manual del diseño bioclimático.

Estrategias relacionadas con el viento (Manual de Diseño Bioclimático Urbano, 2013):

- Las barreras protectoras necesarias se colocarán en la dirección perpendicular a la de los vientos dominantes y en caso de ser importante su frecuencia y velocidad se pueden buscar orientaciones mixtas.
- En las zonas en las que sea necesario la dispersión de contaminantes y de baja velocidad del viento se podrá favorecer su aceleración mediante el efecto Venturi.
- Se evitarán las zonas donde las edificaciones u otros obstáculos puedan producir efectos de aceleración y turbulencia innecesarios.
- Si es necesario poner resistencia al viento y disminuir su velocidad se escogerán materiales contexturas rugosas.



## HIVER

(orientation Est - 21 décembre à 12H00 - inclinaison 20°)

Jardin d'hiver et Atrium fermés (Effet de serre)

Les deux rideaux sont ouvertes

Captage des apports solaires à travers les baies vitrées.

Le jardin d'hiver et l'atrium réduisent les déperditions et les consommations de chauffage

La structure béton stocke les radiations solaires pendant la journée

Déstratification de l'air dans l'atrium

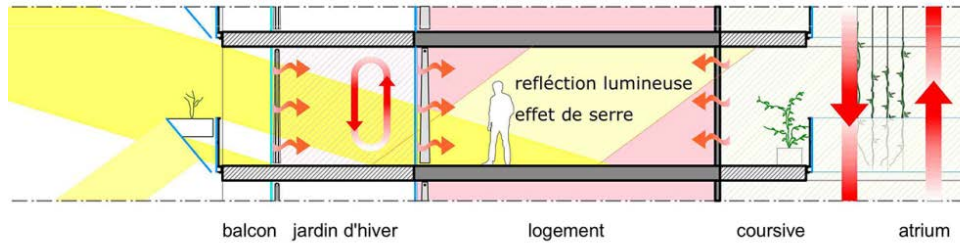


Ilustración 19: Résidence pour chercheurs, Paris. Fuente: <http://www.lacatonvassal.com>

Estrategias ligadas con el agua y la humedad en la ciudad (Manual de Diseño Bioclimático Urbano, 2013):

- Utilización de superficies permeables que contribuyen a la regulación higr térmica ya que permiten la absorción del agua y regulan la temperatura ambiente al tener el terreno una temperatura más o menos constante.
- Materiales que puedan recoger la humedad ambiental colocándolos en lugares secos y soleados durante el día.
- Gestión del agua.
- Redes de aguas separativas.
- Gestión de agua sostenible como los SUDS o sistemas de acumulación de agua de lluvia.
- Empleo de la vegetación.
- Deberán utilizarse diferentes especies en función con las necesidades del espacio.
- En cuanto al soleamiento lo preferible son especies de hoja caduca cuando puedan sombrear edificaciones o espacios estacionales. Evitando obstaculizaciones y favoreciendo la captación solar.
- En cuanto al viento es preferible utilizar especies autóctonas de hoja perenne con diferentes formas y alturas en la dirección de los vientos dominantes.
- Los árboles de hoja perenne en caso de emplearlos se localizarán en orientaciones norte que produzcan sobras arrojadas y localizándolos en puntos de accesibilidad solar.
- La inclusión de zonas vegetales contribuye a la infiltración de agua que será necesario en periodos de lluvias abundantes.

- La fitodepuración puede suponer una alternativa a otros tipos de sistemas de limpieza de aguas recogidas durante su almacenamiento en un periodo de sequía.

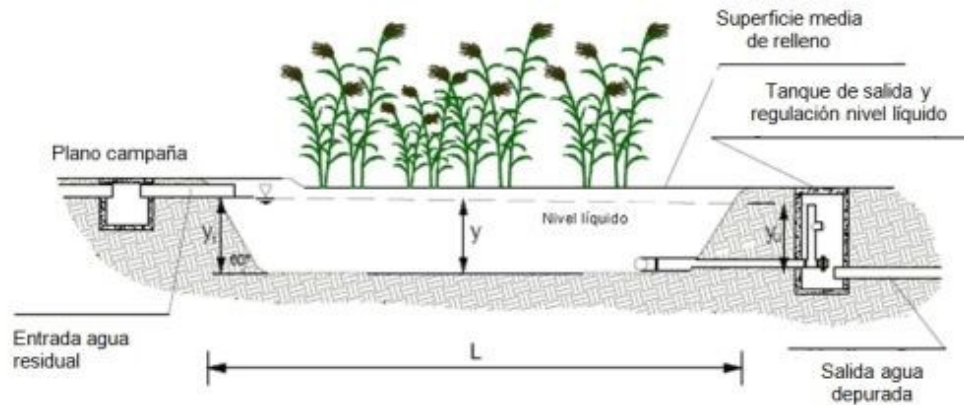


Ilustración 20: esquema de la fitodepuración. Fuente: solosestocks.com

Estrategias ligadas a la selección de materiales (Manual de Diseño Bioclimático Urbano, 2013):

- Potenciar la acumulación de energía en pavimentos y paramentos verticales con accesibilidad solar usando materiales con menor albedo (más oscuros y más rugosos) y que permitan la acumulación de energía o el incremento de la temperatura en espacios estacionales.
- Selección de mobiliario urbano con baja inercia térmica para que incrementen rápido su temperatura al sol y sean confortables para su uso.
- Selección de materiales locales para reducir la energía en su proceso de transformación, soporte, toxicidad.
- Materiales duraderos y de bajo mantenimiento.

## RECOMENDACIONES EN VERANO

Estrategias de sombreado (Manual de Diseño Bioclimático Urbano, 2013):

- Serán necesarias en horas centrales del día y primeras horas de la tarde entre julio y agosto. Siempre permitiendo la accesibilidad solar.
- Importante los recorridos sombreados en zonas de paseo en las horas centrales de julio y agosto.
- Sistemas de protección horizontales en la orientación sur, como protecciones móviles u árboles de hoja caduca.
- Las zonas de actividades al aire libre y las zonas infantiles deberán de disponer de sombra durante las tardes de verano.



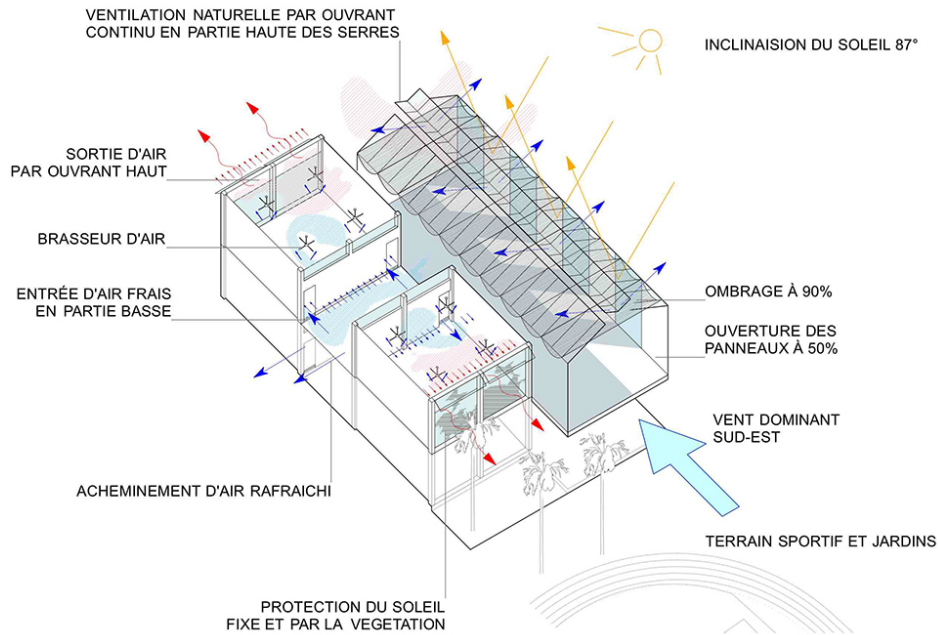


Ilustración 21: Lycée français Alexandre Yersin, Vietnam. Fuente: <http://www.lacatonvassal.com>

Estrategias relacionadas con el viento (Manual de Diseño Bioclimático Urbano, 2013):

- Si las direcciones dominantes en invierno y verano son diferentes esto nos permitirá realizar variaciones que ayudarán a la ventilación de la zona de estudio.
- Podrán aprovecharse los efectos de turbulencia y aceleración.
- Producción de microbrisas nocturnas que mejorará el bienestar o diferencias de humedad.
- En esta época es muy importante la dispersión de contaminantes debido a que se produce una disminución de precipitaciones. Deberá acelerarse la velocidad del aire en ciertos lugares donde se produzca estancamiento.

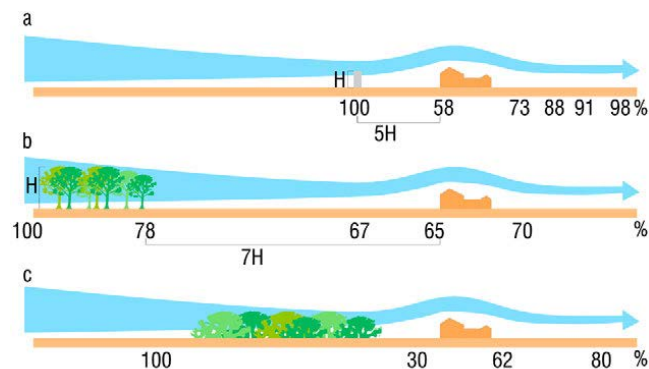


Ilustración 22: reducción de la velocidad del viento en función de los obstáculos. Fuente: manual de diseño bioclimático.

Estrategias ligadas al agua y humedad (Manual de Diseño Bioclimático Urbano, 2013):

- Humectación podrá utilizarse como alternativa al soleamiento para lograr el bienestar y reducir la sensación térmica. Se conseguirá colocando láminas de agua, fuentes o vegetación en la dirección de los vientos dominantes.

- Almacenamiento de agua durante los periodos de sequía para utilizarla como riego en verano y aprovecharse de los efectos termorreguladores de los suelos permeables y la vegetación.
- Suelos permeables, estos aportarán humedad al espacio siempre y cuando puedan estar humectados.

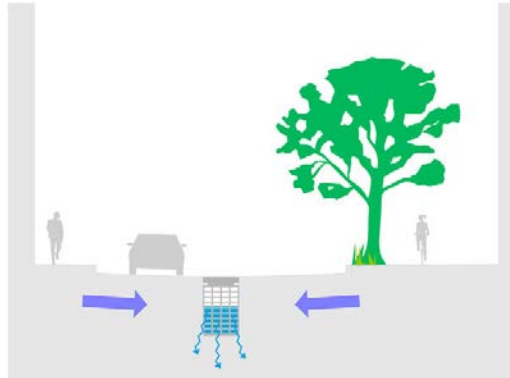


Ilustración 23: sistemas urbanos de drenaje sostenible. Fuente: manual del diseño bioclimático.

Estrategias relacionadas con la vegetación (Manual de Diseño Bioclimático Urbano, 2013):

- En estos meses la red de espacio verdes va a tener una especial incidencia en el bienestar térmico de los espacios. La refrigeración adiabática surge como una alternativa al sombreado.  
Para que este fenómeno se produzca es necesaria la evapotranspiración.
- Utilización de la xenojardinería: estilo de paisajismo que no requiere de riegos suplementarios, e zonas donde no es accesible el suministro de agua.
- Fitodepuración de aguas residuales para otros usos.
- Vegetación con diferentes alturas y suelos vegetados.
- Selección de especies autóctonas y variabilidad de estas.
- Barreras vegetales para la conducción y aceleración de los vientos y dispersión de contaminantes.

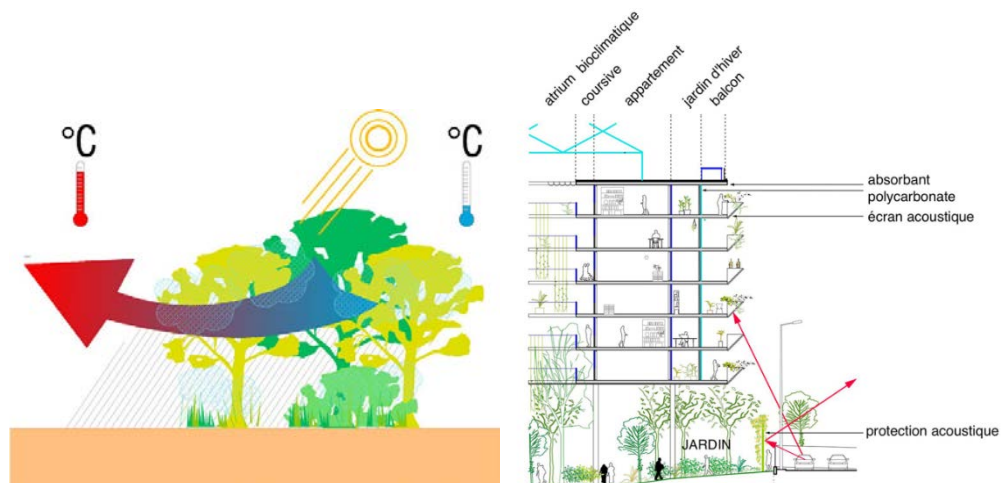


Ilustración 24: izquierda: generación de microbrisas gracias a la vegetación. Fuente: manual del diseño bioclimático. Derecha: especies vegetales como protección acústica. Fuente: <http://www.lacatonvassal.com>

Selección de materiales (Manual de Diseño Bioclimático Urbano, 2013):

- Mobiliario urbano y exterior con baja inercia térmica.
- Materiales emisivos y de alta inercia y pavimentos y paramentos para prolongar el confort en las primeras horas nocturnas.
- En espacios estacionales deberán combinarse los materiales con un mayor albedo y otros que reduzcan la acumulación del calor. Así como materiales fríos que alcancen una temperatura menor, acumulen menos calor y mantengan la temperatura superficial parecida a la del aire.
- Se deberá tener cuidado para evitar y no provocar deslumbramientos.
- Materiales y pavimentos permeables combinados con agua.
- Materiales locales que reduzcan la energía en su transformación y transporte.
- Que sean duraderos y mínimo mantenimiento.

En la siguiente imagen se puede ver como se aplican diferentes tipos de estrategias pasivas explicadas anteriormente.

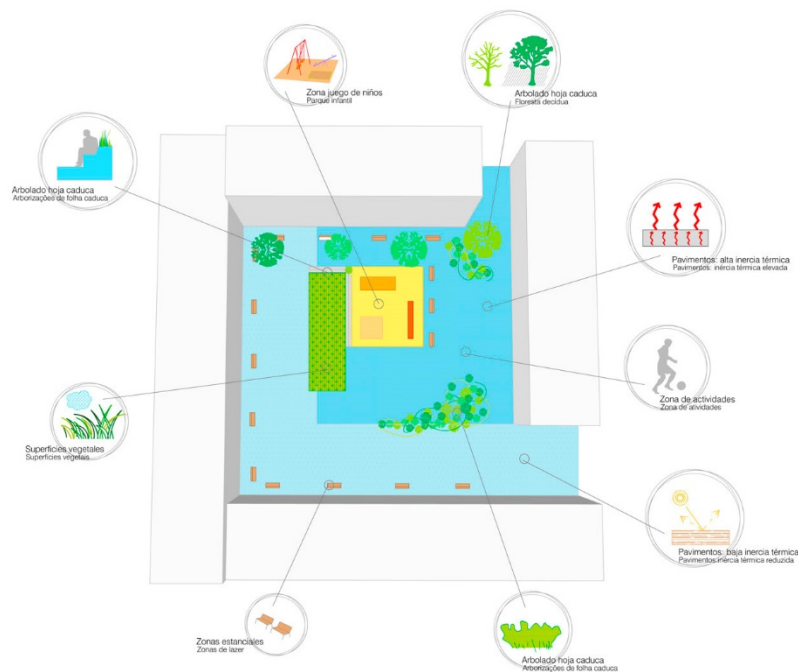


Ilustración 25: medidas a pasivas. Fuente: Manual de diseño bioclimático.

## LOS NZEB

Para conocer son los nZEB comenzaremos por la definición:

*“Un edificio de muy baja demanda y que, además, la cubre con energías renovables. Un estándar que deben cumplir los edificios nuevos pero que, también y necesariamente, deben ir asumiendo los edificios existentes”.*

*Directiva de Eficiencia Energética de 2010*



*Ilustración 26: imagen que refleja el la filosofía con una expresión matemática. Fuente: structuralia.com*

Debemos de tener en cuenta que nuestro sector tiene una vital importancia en la calidad de vida de los usuarios, pero también en el ahorro de recursos y relación con el medio.

Según el documento realizado por ECOFYS el 31 de diciembre del 2020 todos los nuevos edificios deberán ser nZEB, mientras que antes del 31 de diciembre del 2018 los edificios nuevos ocupados y de los que son propiedad las administraciones publicas también tendrán que cumplir este requisito. (Libro de Comunicaciones del III Congreso Edificios Energía Casi Nula, 2016)

En el 2014 los estados miembros han realizado reportajes, así como planes nacionales que contemplan estas medidas. Pero por desgracia España es uno de ellos que no ha contemplado estas medidas ni ha impulsado medidas que favorezcan su implantación. Como se puede comprobar en la siguiente tabla (Groezinger, y otros, 2014):

Member State	Full Definition in Place	Numerical Indicator	Share of Renewable Energy
Austria	Yes	Yes	Yes
Belgium - BXL	Yes	Yes	Yes
Belgium - Walloon	Yes	Yes	Yes
Belgium - Flemish	Yes	Yes	Yes
Bulgaria	Yes	Yes	Yes
Croatia	Yes	Yes	Yes
Cyprus	Yes	Yes	Yes
Czech Republic	Yes	Yes	Yes
Denmark	Yes	Yes	Yes
Estonia	Yes	Yes	Yes
Finland	Yes	Yes	Yes
France	Yes	Yes	Yes
Germany	Yes	Yes	Yes
Greece	Yes	Yes	Yes
Hungary	Yes	Yes	Yes
Ireland	Yes	Yes	Yes
Italy	Yes	Yes	Yes
Latvia	Yes	Yes	Yes
Lithuania	Yes	Yes	Yes
Luxembourg	Yes	Yes	Yes
Malta	Yes	Yes	Yes
Netherlands	Yes	Yes	Yes
Portugal	Yes	Yes	Yes
Poland	Yes	Yes	Yes
Romania	Yes	Yes	Yes
Slovenia	Yes	Yes	Yes
Slovakia	Yes	Yes	Yes
Spain	Yes	Yes	Yes
Sweden	Yes	Yes	Yes
United Kingdom	Yes	Yes	Yes

Yes  
still to be approved  
under development  
No

*Ilustración 27: relación del desarrollo en la aplicación de nZEB en los diferentes estados miembro. Fuente: ECOFYS, visión sobre la información sobre nZEB en los estados miembro.*

Otra de las tablas que cabe destacar es la que relaciona a cada estado miembro con las medidas implementadas para conseguir cumplir esta resolución y mejorar el cuanto a demanda energética. Solamente Bélgica, Grecia, Rumania y España no han realizado ningún tipo de política o medidas para promover esta práctica. (Groeziinger, y otros, 2014).

Memberstate	Awareness raising / Information	Strengthening building regulations	Energy performance certificates	Education and Training	Demonstration and pilot projects	Financial support schemes	Supervision (energy audits etc.)	R&D
Austria								
Belgium - BXL								
Belgium - Flemish								
Belgium - Walloon								
Bulgaria								
Croatia								
Cyprus								
Czech Republic								
Denmark								
Estonia								
Finland								
France								
Germany								
Greece								
Hungary								
Ireland								
Italy								
Latvia								
Lithuania								
Luxembourg								
Malta								
Netherlands								
Portugal								
Poland								
Romania								
Slovakia								
Slovenia								
Spain								
Sweden								
United Kingdom								

Existing  
not existent

Ilustración 28: medidas políticas que apoyan a los nuevos edificios zNEB en los diferentes estados miembro.  
Fuente: ECOFYS, visión sobre la información sobre nZEB en los estados miembro.

Si queremos conseguir un nuevo modelo de construcción y la mejora energética de los edificios es fundamental la planificación de estrategias, diseño y construcción, pudiendo reducir a niveles mínimos la demanda de los edificios.

Si nos fijamos en las tipologías podremos reducir en un 24% la demanda en viviendas, mientras que en edificios de servicios sería un poco más alta, entorno a un 27%. (Cuchí, 2016)

Pero toda esta idea coincide con un movimiento que se viene extendiendo y cobra cada vez más importancia: la regeneración del parque existente o patrimonio actual.



## LA VIVIENDA COLECTIVA

Para verificar esta idea y darnos cuenta de que se trata de una realidad contamos en la bibliografía con el libro PLUS: LA VIVIENDA COLECTIVA. Donde los arquitectos franceses Druot, Lacaton y Vassal ofertan una nueva estrategia de regeneración en conjuntos de viviendas situadas en Francia.

Los autores sostienen que renovar las edificaciones, mejorarlas y regenerarlas para que se adapten a las necesidades que demanda hoy en día la población generarían menos costes que su derribo y posterior construcción. Por lo tanto, el presupuesto necesario para la demolición puede emplearse de manera más adecuada para la adecuación y mantenimiento, revalorizando el objeto y proponiendo un reto para los arquitectos.

Las casas en las que basan sus proyectos y le sirven como referencia para crear y diseñar estos ambientes son (Druot, Anne, & Vassal, 2007):

### 1. Casas Latapie



Ilustración 29: fotografías de la casa Laplace. Fuente: <http://www.lacatonvassal.com/?idp=25>

### 2. Casa Coustras



Ilustración 30: Casa coustras. Fuente: Fuente: <http://www.lacatonvassal.com/?idp=25>

Se crea una estructura de prolongación independiente del edificio existente, de manera que no aumenten las cargas sobre el mismo.

Ayudando a realizar una distribución mucho más holgada.

Se minimizan las molestias de los usuarios del mismo en el transcurso de las obras, de manera que todas las fases del proceso constructivo se ejecuten de manera escalonada.

Si se quiere agilizar el proceso, incluso se podría prefabricar cada tramo de planta con el fin de solo proceder a su colocación en el lugar.

El cerramiento exterior se verá sustituido por una nueva fachada de vidrio, cambiando el envoltorio y regenerando la zona.

Entendiéndose todo el conjunto de bloques y sus zonas públicas como uso común y zonas de disfrute. Creando una mezcla social entre el espacio común privado y las zonas de uso comunes.

Se demuestra como con un presupuesto equivalente al necesario para realizar una reforma integral se pueden renovar los edificios existentes, dotarlos con mejoras considerables.

Se añaden acristalamientos mayores sustituyendo los masivos cerramientos y se introducen balcones para transformar radicalmente y de manera económica una arquitectura industrial, cuyo único objetivo era dar vivienda de la manera más rápida posible a la cantidad de inmigrantes que se desplazaban a las zonas (Druot, Anne, & Vassal, 2007).

La arquitectura de Druot, Lacaton y Vassal siempre se basa en construir sobre el pasado:

*"No derribar nunca, no restar ni reemplazar nunca, sino añadir, transformar y utilizar siempre"*

*Plus la vivienda colectiva*

*"El contenido de una nueva actuación no es el de simular lo existente sino reanimarlo y emplear su potencial latente."*

*Vassal*

## ACTITUD

*"Hacer que unos elementos creados y juzgados, a priori como negativos, se vean de forma muy positiva, ya que por inversión o por exceso, se trata de provocar una retroversión del desencanto del que un lugar ha sido testigo"*

*Jean Nouvel*

Provocando las mínimas molestias o no molestar en absoluto. Y siempre facilitando los usos y simplificando la vida.

*"Es aterrador constatar que la única evolución de la que han sido testigos las viviendas en estos 40 últimos años se ha producido desde la norma y la reglamentación."*

*Plus la vivienda colectiva*

## TRANSFORMACIÓN

La arquitectura de cada bloque de viviendas debe alcanzar unos niveles de confort y calidad máximos y garantizar la durabilidad de sus elementos (Druot, Anne, & Vassal, 2007).

Debemos de sacar partido a las cualidades intrínsecas de las construcciones hoy en día.

1. Solidez: calidez de la construcción
2. Minimalismo de los elementos de circulación, superposición y transparencia.
3. Higiene
4. Salubridad
5. Confort
6. Potencialidad de las vistas y transparencia
7. Economía de espacio, suelo e instalaciones

Aprovechamiento de lo existente y transformándolo de manera eficaz para alcanzar unas calidades incuestionables mediante:

1. Ampliación y prolongación de las viviendas, aumentando la sala de estar que se convierte en un amplio espacio de vida.
2. Transparencia de las fachadas introduciendo balcones y terrazas.
3. Intervención sobre rellanos, circulaciones verticales y ascensores.
4. Espacios existentes bien organizados y con un uso concreto.

## LUJO

*"Una vivienda bien, es una vivienda lujosa"*

Vassal

*"Implica ofrecer un plus en cuanto se aborda una situación concreta. Un plus imaginable para los demás y en ningún caso para uno mismo."*

Lacation

*"Es la expresión de la generosidad de los espacios, todavía por alcanzar, también de la luz y del confort de los sistemas constructivos que lo permitan."*

Druot

Case Study Houses son un ejemplo de equilibrio que puede llegar a darse entre la generosidad y la sencillez. Empleando más luz, fluidez en los interiores y más relación entre el interior y exterior. (Druot, Anne, & Vassal, 2007).

## MASA Y SISTEMA

Como en el caso de la Villa de Avilés, en 1950-1960 se hace preciso proporcionar alojamiento debido a una gran cantidad de inmigración. Lo que implicó fue una construcción masiva para dar vivienda a toda esa cantidad de personas que estaban llegando (Druot, Anne, & Vassal, 2007).

Hoy en día este modelo sigue siendo un referente ya que se realizan modelos basados en él introduciendo las mejoras de la época, pero sin producirse una evolución de las características de la vivienda desde un punto de vista individual.

Se debe tener en cuenta que cada individuo que residía en uno de estos grandes conjuntos de viviendas debe gozar de la misma consideración que cualquier cliente que encargue un proyecto en una villa privada.

## POTENCIAL DE LOS GRANDES CONJUNTOS DE VIVIENDAS

*"La producción y construcción de estos conjuntos de viviendas es defendible para el contexto para el que fue pensada."*

Vassal



Todo lo que antes constituía la base del confort, zona común (salón-comedor), baño... hoy en día no basta, ni es incluso considerado como un mínimo.

Es importante no contentarse con cumplir unos mínimos teniendo derecho a exigir en cuanto se trata de nuestra vivienda.

*"Los vecinos se sienten ligados a los espacios públicos colectivos, por lo que merecen un mínimo de mantenimiento y atención para que las personas hagan uso y se potencien las cualidades de estas zonas."*

Lacation

## ANÁLISIS DE LA POLÍTICA LLEVADA A CABO POR EL GOBIERNO ACTUAL

Actualmente parece que se está viendo un "cambio" en cuanto a las medidas políticas llevadas a cabo, en gobiernos y delegaciones locales, para transformar y restaurar zonas concretas (Druot, Anne, & Vassal, 2007).

Teniendo en cuenta las medidas y los proyectos que se están promoviendo y que favorecen los intereses, necesidades e inquietudes de los ciudadanos desde un punto de vista que favorece el medio ambiente y el bienestar social.

Concretamente en la Villa de Avilés se están llevando a cabo diferentes actuaciones bajo la inversión realizada por los fondos FEDER.

## ECO-CULTURA

*"En el contexto de crisis de la vivienda que vivimos actualmente la primera actuación que debemos llevar a cabo y probablemente sea la más adecuada es la del reciclaje, entendiéndose por este como el incremento de las intervenciones en los grandes conjuntos de viviendas sin pasar por derribarlos."*

Vassal

*"Los grandes conjuntos de viviendas permiten reorganizar y reconstruir viviendas adecuadas a las necesidades actuales desde el punto de vista económico y asequible, por lo tanto, son bienes patrimoniales que generan valor."*

Prout

Se trata de una actuación entre la rehabilitación y la reconstrucción. Pudiendo definirla como una transformación del espacio. (Druot, Anne, & Vassal, 2007).

En el caso de este tipo de viviendas tenemos la ventaja de poseer una libertad de dar la respuesta que mejor se adapte, incluso alejándose de lo convencional.

Sin perder la esencia de barrio ni perder la historia, se quiere volver a conseguir la unión y conexión entre este grupo de viviendas.

La concepción general de proyecto responde a la voluntad constante de economizar los materiales, instalaciones y espacio públicos buscando aquellas soluciones que permitan concebir un edificio adecuado a su uso y contexto.

Esta elección es básica si queremos que sea respetuosa con el entorno y que cumpla las características básicas para las que está diseñada.

Para localizar con exactitud los problemas concretos y soluciones adecuadas lo mejor es escenificar el recorrido de una persona que habita en la casa.

Muchas veces sólo es necesario reorganizar, modificar y completar los espacios existentes.

Se proponen mejoras desde el punto de vista de confort, pero siempre buscando el placer de la persona.

#### Actividades en los dormitorios:

- Abrir el muro de fachada y añadir un balcón, ventanal para generar una mayor comunicación con el exterior.
- Sustituir el tabique por una partición manual aumentando el espacio y los usos.
- Balcón corrido que permita circular libremente con otros espacios de la vivienda.



Antes de la transformación.  
Avant transformation.  
Before conversion.



Abrir el muro de fachada, añadir un ventanal.  
Ouvrir le mur de façade, ajouter une baie vitrée.  
Opening the facade wall, adding a picture window.

Ilustración 31: transformación de una habitación. Fuente: PLUS la vivienda colectiva.

#### Actividades en los baños:

- Abrir el muro de fachada y colocar una ventana para aprovechar el aire y la luz.

#### Cocina:

- Eliminar la distancia que separa la cocina y la sala de estar-comedor. Aprovechar el espacio y las vistas.
- Abrir el muro de fachada y colocar un balcón o ventanal corrido que permita aprovechar las vistas mientras se cocina... al exterior.

#### Salón comedor:

- Añadir un balcón corrido y ventanales para convivir con el paisaje, inundar de luz la sala que permita disfrutar de actividades como la lectura, comer, salir al exterior, ...



Antes de la transformación.  
Avant transformation.  
Before conversion.



Abrir el muro de fachada, añadir un balcón corrido.  
Ouvrir le mur de façade, ajouter un balcon filant.  
Opening the facade wall, adding a continuous balcony.

- Ilustración 32: transformación de una cocina. Fuente: PLUS la vivienda colectiva.

A continuación, se presenta una serie de imágenes obtenidas del propio libro que reflejan las posibilidades que se pueden obtener dependiendo del lugar de la vivienda. (Druot, Anne, & Vassal, 2007)



*Ilustración 33: transformación de un salón. Fuente: PLUS, la vivienda colectiva.*

Lo que permite de una manera directa en el ahorro de recursos y energía. Ya que se reducen los residuos producidos que conllevaría su deconstrucción y se mejorarían las condiciones existentes actualmente en estas viviendas, acercándonos o incluso alcanzando los nZEB.

## CONFORT USUARIOS

Se entiende como el confort de los usuarios como:

*“Condición mental en la que se expresa satisfacción con el ambiente térmico”*

*Norma ISO 7730*

Analizando la definición vemos que no depende solamente de factores físicos, sino de psicológicos que dependerán del individuo que se encuentre en un determinado ambiente.

La sensación térmica experimentada por un ser humano está relacionada, principalmente, con el equilibrio térmico global de su cuerpo. Tal equilibrio depende de la actividad física y de la vestimenta del sujeto, así como de los parámetros ambientales: temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire y humedad del aire. Si factores han sido estimados o medidos, la sensación térmica global del cuerpo puede ser estimada mediante el cálculo del voto medio estimado PMV predicted mean vote (ISO 7730).

La incomodidad térmica también puede ser motivada por el calentamiento o enfriamiento local inesperado del cuerpo. Los factores de incomodidad local más comunes son la asimetría de la temperatura radiante, las corrientes de aire, la diferencia vertical de temperatura del aire (ISO 7730).

De manera que, se puede realizar una clasificación de los factores que influyen según sea:

- Ambientales:

Temperatura del aire: es el factor determinante ya que determina la cantidad de calor disipada.

Velocidad del aire: la velocidad del aire acelera el intercambio de calor mediante la convección, por lo tanto, incrementa la evaporación de la piel incrementando el efecto de enfriamiento. La velocidad confortable se encuentra en torno a los 0,5 m/s. (Szokolay, 2008)

Humedad: humedades entre el 30 y 65% no causan grandes efectos de percepción en el confort, pero en humedades superiores se dificulta la respiración y la evaporación, mientras que en humedades inferiores afecta a las mucosas y piel causando ambas situaciones desagradables (Szokolay, 2008).

Radiación: depende de la temperatura de las superficies de los elementos que se encuentren alrededor. Se mide mediante un indicador llamado MRT, *mean radiant temperature*. Y depende directamente de la ropa (Szokolay, 2008).

- Personales:

Actividad metabólica

Ropa

Estado de salud

Acclimatización

- Otros factores: que contribuyen:

Comida y bebida

Dimensiones del individuo

Grasa en el cuerpo

Edad y generación

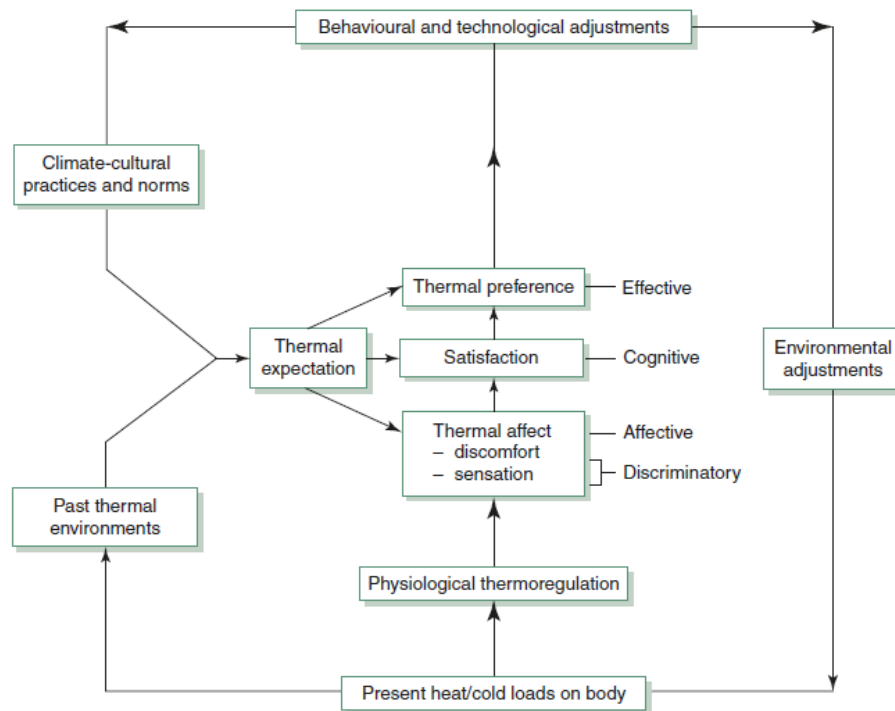


Ilustración 34: modelo de percepción físico-psicológica. Fuente: *The basic of sustainable desing*.

De manera física podemos estudiar este concepto de la siguiente manera, es decir mediante la manera en la que se transmite el calor.

## CONDUCCIÓN

El fenómeno de conducción se produce en el momento que dos cuerpos se encuentran en contacto y existe una diferencia de temperatura entre ellos (Szokolay, 2008).

Las principales variables que se tienen en cuenta a la hora de obtener la conducción son:

1. Conducción del material y de diseño " $\lambda$ "
2. Resistencia del material o conjunto de elementos " $R$ "
3. Transmitancia del material o elemento " $U$ "
4. Área del elemento/s de estudio
5. Diferencia de temperatura " $\Delta T$ "

Este fenómeno influye, por ejemplo, en la cantidad de calor que se transmite a través de los cerramientos. De manera que, modificando parámetros como el espesor de la capa, o combinando ciertos materiales, la cantidad energía intercambiada varía.

### Conducción del material

Depende principalmente de la capacidad de conducción del material,  $\lambda$  (W/m K). Pero en la conductividad del material también influyen las condiciones de uso por lo " $\lambda$  propia del material", se relaciona con " $\lambda$  de diseño" mediante un factor de uso " $k$ " en función de cómo va ir colocado (entre que materiales, ...) (Szokolay, 2008).

Por ejemplo, no es lo mismo un material poroso seco (en término de conductividad) que el mismo material poroso saturado, ya que el agua permite que la conductividad del material aumente.

Por lo tanto, la primera variable se puede obtener de la siguiente expresión:

$$\lambda_{\text{diseño}} = \lambda_{\text{material}} * (1 + k_3 + k_2 + \dots)$$

$\lambda_{\text{diseño}}$  = conductividad real del material en función de sus características y posición

$\lambda_{\text{material}}$  = conductividad propia del material

$k_n$  = factor en función de la posición del material

La conductividad térmica de los materiales puede obtenerse de la norma UNE EN ISO 10: 456:2001

### Resistencia térmica

La resistencia térmica se calcula a partir de dos componentes:

1. Conductión  $\lambda$  de diseño
2. Espesor de la capa

$$R_n = \frac{e \text{ (m)}}{\lambda_{\text{diseño}} \left( \frac{W}{m} K \right)}$$

$R_n$  = resistencia térmica del material (m /WK)

$e$  = espesor de la capa del material (m)

$\lambda_{\text{diseño}}$  = conductividad real del material en función de sus características y posición (W/m K)

Si disponemos de un elemento constituido de diferentes materiales homogéneos la resistencia total se calculará mediante la expresión<sup>2</sup>:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_{se}$$

$R_T$  = resistencia total del elemento

$R_{si}$  = resistencia térmica de la capa interior

$R_{se}$  = resistencia térmica de la capa exterior

$R_{1,2,\dots}$  = resistencia térmica de cada elemento

### Transmitancia "U"

La transmitancia térmica de un elemento es la inversa de la resistencia total de este.

Se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$U = \frac{1}{R_T} \left( \frac{W}{m^2} K \right)$$

$U$  = transmitancia térmica del elemento (W /m<sup>2</sup> K)

$R_T$  = resistencia total del elemento (m<sup>2</sup> K /W)

### Área del elemento

En m<sup>2</sup> del elemento de estudio.

### Diferencia de temperatura

La diferencia de temperatura entre el interior y el exterior se determina mediante:

$$\Delta T = T_{\text{exterior}} - T_{\text{interior}}$$

$\Delta T$  = incremento de temperatura entre la diferencia de la exterior con la interior °K

$T_{\text{exterior}}$  = temperatura del bulbo seco exterior °K

$T_{\text{interior}}$  = temperatura del bulbo seco interior °K

<sup>2</sup> La resistencia térmica interior y exterior se puede obtener de tablas, por ejemplo, tabla E.1- Apéndice E.1.1. CTE-HE.



Una vez obtenidas todas las variables y sabiendo su procedencia podremos aplicar la fórmula de la conducción para obtener la transferencia de calor:

$$Q = A * U * \Delta T$$

$Q$  = calor por conducción (W)

$A$  = área del elemento ( $m^2$ )

$U$  = transmitancia térmica del elemento ( $W/m^2K$ )

$\Delta T$  = incremento de temperatura entre la diferencia de la exterior con la interior  $^{\circ}K$

Introduction to Architectural Science

También se puede determinar mediante la Ley de conducción de calor de Fourier

$$Q = \frac{A * (T_1 - T_2)}{\frac{e_n}{\lambda_n}}$$

$Q$  = calor por conducción (W)

$A$  = área del elemento ( $m^2$ )

$T_1$  = temperatura del elemento 1 ( $^{\circ}K$ )

$T_2$  = temperatura del elemento 2 ( $^{\circ}K$ )

$e$  = espesor de la capa del material (m)

$\lambda_{diseño}$  = conductividad real del material en función de sus características y posición ( $W/mK$ )

Ley de conducción de calor de Fourier

## CONVENCIÓN

Se trata de un fenómeno entre moléculas, o bien entre dos fluidos o un fluido y un sólido. En el que se produce el transporte de energía con un desplazamiento de material. Es decir, a través del movimiento se produce el intercambio de energía (Szokolay, 2008).

Depende de tres variables:

1. Coeficiente de convección "Hc"
2. Área de la superficie
3. Temperatura superficial de la pared
4. Temperatura del fluido

### Coeficiente de convección

Este nos indica la cantidad de calor que se transfiere por unidad de tiempo y de área desde una superficie en contacto con el aire hacia él ( $W/m^2K$ ).

La obtención de dicho coeficiente depende: el tipo de ventilación (natural o forzada), el tipo de superficie (vertical u horizontal) y la velocidad del fluido. A continuación, se explica de manera clara como se obtiene este parámetro, en los siguientes cuadros (Szokolay, 2008):

	SUPERFICIE HORIZONTAL	SUPERFICIE VERTICAL
VENTILACIÓN NATURAL	$Hc = 1,31 * Dt^{0,33}$ Régimen laminar	$Hc = 1,52 * Dt^{0,33}$ Régimen turbulento
	VELOCIDADES > 5m/s	VELOCIDADES < 5m/s
VENTILACIÓN FORZADA	$Hc = 7,2 * va^4 + 0,78$	$Hc = 18,6 * va + 5,6$

<sup>3</sup> Siendo  $Dt$  la diferencia de  $T^{\circ}$

<sup>4</sup>  $va$  la velocidad del aire en m/s

Una vez obtenidas todas las variables podremos aplicar la fórmula para obtener la transferencia de calor:

$$Q = A * h_c * \Delta T$$

*Q = calor por conducción (W)*

*A = el área en contacto entre los dos elementos (en el caso de ser un sólido y un fluido) (m<sup>2</sup>)*

*h<sub>c</sub> = coeficiente de convección en función del tipo de ventilación y la velocidad del aire (W/m<sup>2</sup>K)*

*ΔT = la diferencia entre la temperatura superficial el sólido y el fluido o entre los dos fluidos (°K)*

Introduction to Architectural Science

Este fenómeno es el más utilizado si queremos variar las condiciones de confort térmico de manera rápida, aprovechándose en la climatización de edificios.

### RADIACIÓN

Fenómeno que se produce por medio de ondas electromagnéticas, por el simplemente hecho de que dos cuerpos se encuentren a distinta temperatura. No existe el contacto entre ellos. (Szokolay, 2008)

Para que se produzca radiación depende las cualidades de los cuerpos, dichas cualidades son:

1. Reflectividad (ρ): esta propiedad indica que cantidad de radiación es capaz de reflejar la superficie
2. Absortividad (α): propiedad que mide la cantidad de energía que es capaz de absorber la superficie. Varía entre α=0,9 y α=0,2 (asfalto negro y una pared blanca, respectivamente).
3. Transmisibilidad (τ): fracción de radiación que transmite el cuerpo, en arquitectura suele considerarse como nula al tratarse en general de cuerpos opacos

Estas cualidades se relacionan entre sí mediante la siguiente fórmula:

$$1 = \alpha + \rho + \tau$$

*α = cantidad de energía que absorbe un material*

*ρ = cantidad de energía que es capaz de reflejar un material*

*τ = cantidad de energía que transmite un cuerpo*

*Leyes de Radiación*

Una vez que sabemos que le ocurre al cuerpo cuando le llega energía radiante las variables que influyen en el cálculo de la energía por radiación son:

1. Área del elemento
2. Coeficiente de radiación h<sub>r</sub>, que este a su vez depende de:
  - Constante de Stefan – Boltzmann (σ)
  - Emisividad del material (ε): dicha fracción decimal suele ser igual a la absortividad si el elemento mantiene la misma temperatura de radiación o longitud de onda α= ε (debemos tener en cuenta que puede cambiar ya que hay materiales que cambian sus propiedades según la temperatura).
  - Temperatura del elemento y temperatura que le llega al cuerpo en forma de ondas electromagnéticas.
3. Diferencia de temperaturas
  - Cálculo del coeficiente de radiación h<sub>r</sub>:

$$h_r = \sigma * \varepsilon * \frac{(T'/100)^4 - (T''/100)^4}{(t' - t'')}$$

$h_r$  = coeficiente de radiación ( $W/m^2K$ )

$\sigma$  = constante de Stefan - Boltzman  $5,67 \frac{W}{m^2} K^4$

$\varepsilon$  = emisibilidad de un material

$T'$  = temperatura del elemento  $^{\circ}K$

$T''$  = temperatura que llega el cuerpo en forma de ondas electromagnéticas  $^{\circ}K$

$t'$  = temperatura del elemento  $^{\circ}C$

$t''$  = temperatura que llega el cuerpo en forma de ondas electromagnéticas  $^{\circ}C$

Introduction to Architectural Science

### Cálculo de la diferencia de temperaturas

$$\Delta T = (t' - t'')$$

$\Delta T$  = la diferencia entre la temperatura superficial el sólido y el fluido o entre los dos fluidos ( $^{\circ}K$ )

$t'$  = temperatura del elemento  $^{\circ}C$

$t''$  = temperatura que llega el cuerpo en forma de ondas electromagnéticas  $^{\circ}C$

Por lo tanto, una vez obtenidas todas las variables podremos aplicar la fórmula para obtener la transferencia de calor por radiación:

$$Q = h_r * A * \Delta T$$

$Q$  = calor por conducción ( $W$ )

$h_r$  = coeficiente de convección en función del tipo de ventilación y la velocidad del aire ( $W/m^2K$ )

$A$  = el área en contacto entre los dos elementos (en el caso de ser un sólido y un fluido) ( $m^2$ )

$\Delta T$  = la diferencia entre la temperatura superficial el sólido y el fluido o entre los dos fluidos ( $^{\circ}K$ )

Introduction to Architectural Science

Como se puede observar todo cuerpo realiza un constante intercambio de energía, absorbiendo o emitiendo, como se verá a continuación en este trabajo los objetos que se encuentran a nuestro alrededor influirán en las condiciones de confort.

A continuación, vemos una imagen resumen que trata de explicar de manera gráfica los tres mecanismos existentes.

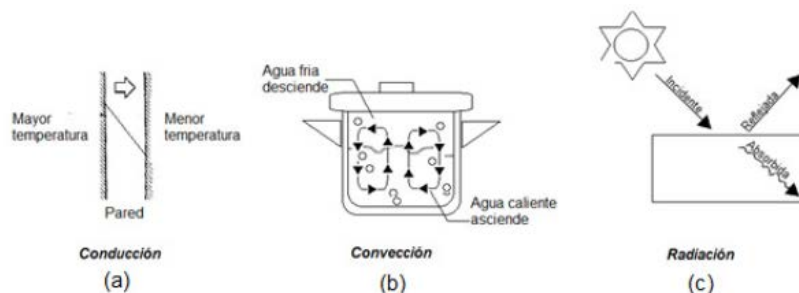


Ilustración 35: esquemas de transferencia de calor.

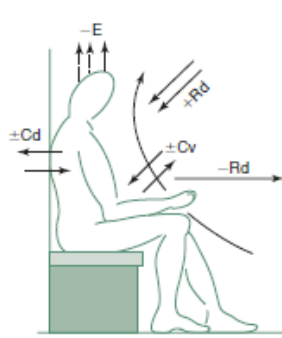
Fuente: Mecanismos de transferencia de calor que ocurren en tratamientos térmicos de alimentos.

## RELACIÓN ENTRE LAS TRES FORMAS DE TRANSMISIÓN DEL CALOR

Como sabemos existen tres tipos diferentes de mecanismos o formas de transmisión del calor entre elementos a diferentes temperaturas (fuente y receptor).

Pero, como se puede intuir, en la mayoría de las situaciones no actúa solamente un tipo de mecanismo, pudiendo actuar los tres o en combinaciones, influyendo en el confort térmico.

El cuerpo humano es un ejemplo de relación entre ellos (Szokolay, 2008):



$$M \pm Rd \pm Cv \pm Cd - Ev = \Delta S$$

*M* = calor que provoca el metabolismo de la persona (depende de edad, peso...)

*Rd* = calor en forma de radiación que genera el cuerpo por encontrarse a diferente temperatura que el medio que le rodea.

*Cv* = calor en forma de convección que el cuerpo humano intercambia

*Cd* = calor que intercambia con las superficies en contacto (pared, banco y suelo).

*Ev* = evaporación, sistema de conducción que tiene el cuerpo refrigerarse y perder calor.

$\Delta S$  = variación del calor acumulado

Introduction to Architectural Science

Ilustración 36: Intercambio de calor en un cuerpo humano.

Fuente: *The basis of sustainable desing*

Físicamente, para que un cuerpo se encuentre un confort térmico la variación entre los intercambios de calor que se producen con el medio que le rodea " $\Delta S$ " debe de ser igual a cero. Aunque por la definición de confort "*condición de satisfacción mental con un ambiente térmico determinado, que requiere evaluación subjetiva*" (ASHRAE, 1997), podemos deducir que depende de otros muchos factores, no sólo físicos.

Con el ejemplo del cuerpo humano podemos deducir cualquier elemento tiende a tener un balance " $\Delta S$ " igual a cero y estabilizarse con el medio que le rodea, mediante la combinación de los diferentes mecanismos de transmisión de calor. (Szokolay, 2008)

$$Q \pm Rd \pm Cv \pm Cd = 0$$

*Q* = calor que genera el cuerpo, si produce algún tipo.

*Rd* = calor en forma de radiación que genera y le llega el cuerpo por encontrarse a diferente temperatura que el medio que le rodea.

*Cv* = calor en forma de convección que el cuerpo intercambia con el medio.

*Cd* = calor que intercambia con las superficies en contacto

## CÁLCULO DE LAS CONDICIONES EN EL INTERIOR

En el caso de las edificaciones, y las condiciones que se generan en su interior debemos de considerar los siguientes componentes en el balance total. (Szokolay, 2008) (Dapana de la Fuente, 2006)

$$Q_i \pm Q_c + Q_s \pm Q_v - Q_e = \Delta S$$

*Q<sub>i</sub> = calor interno que genera un sistema.*

*Q<sub>c</sub> = calor por conducción que generan ciertos elementos al encontrarse en contacto.*

*Q<sub>s</sub> = calor solar; fuente radiante. Son las ganancias más importantes a tener en cuenta.*

*Q<sub>v</sub> = calor ganado o perdido por ventilación, convección*

*Q<sub>e</sub> = calor perdido por evaporación*

Introduction to Architectural Science

Siendo cero " **$\Delta S$** " si existe un balance térmico, mientras que si este es mayor que cero la temperatura en el edificio crece y si es menor esta decrece. (Szokolay, 2008)

Analizando el edificio como si se tratase de un sistema con condiciones estables, es decir que no varían constantemente, se puede hallar de forma muy básica las necesidades en cuanto a generación de calor o frío que requiere un determinado edificio y mejorar las condiciones de diseño de este. (Szokolay, 2008)

## ESTUDIO DEL CLIMA

En el Principado de Asturias contamos con clima que denominamos "clima templado". Caracterizándose por los presentes cambios a lo largo del año.

La principal problemática que tiene este tipo de clima es que en cualquier periodo del año y hora del día las condiciones meteorológicas pueden variar de forma constante. En invierno nos encontramos fríos, con tendencia húmeda; mientras que en verano pueden darse casos de días con intensas temperaturas. (Dapana de la Fuente, 2006)

Otro de los temas a tratar y que afectan al clima o estado de aire es la contaminación ambiental que sufre la región en ciertas zonas, siendo Avilés (el presente lugar de estudio) una de las áreas con mayor grado.

La rápida evolución del clima terrestre en las últimas décadas afecta sin duda a los sistemas biológicos y físicos, pero también a los sistemas sociales y económicos. (González Taboada & Anadón Álvarez, 2011)

En el Principado de Asturias se ha llevado a cabo un análisis de las tendencias de la temperatura y la precipitación en Asturias en los últimos 40 años. Pudiéndose estudiar gracias a los datos obtenidos de (Dapana de la Fuente, 2006):

1. El Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA) que dispone de estaciones meteorológicas automatizadas ubicadas en sitios estratégicos como Ranón, Oviedo, Gijón, ...
2. Los registros aportados por el Instituto Meteorológico Nacional (AEMET): cuenta con una red de estaciones meteorológicas.

Estos datos se recopilaron y se observaron para así reconstruir la variación espacial en las condiciones mensuales con el fin de representarlas gráficamente. Los modelos incluyeron también el efecto de la elevación y de la distancia a la costa sobre los valores de precipitación y temperatura.

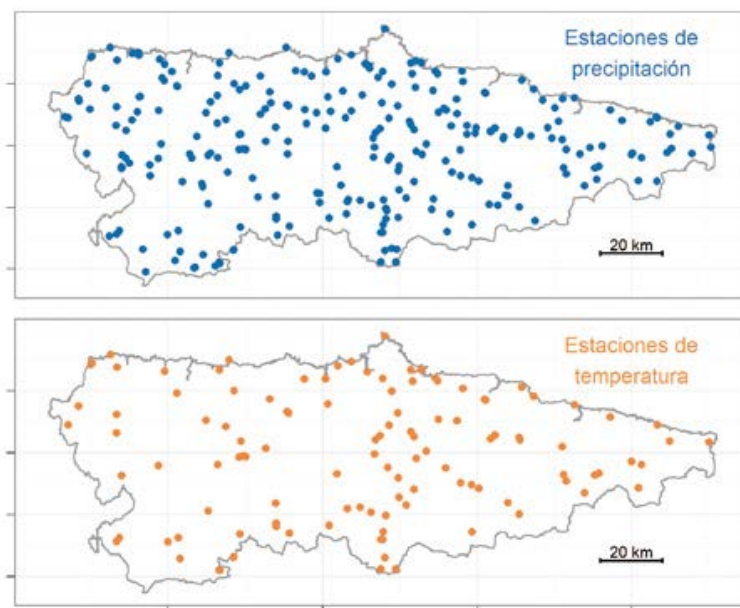


Ilustración 37: distribución de las estaciones meteorológicas de precipitación y temperatura.  
Fuente: Análisis de escenarios de cambio climático en Asturias. Gobierno del P. Asturias



## TEMPERATURA

La temperatura media mensual es siempre muy similar entre las distintas estaciones meteorológicas estudiadas de Asturias, dado que la temperatura del aire es constante para áreas relativamente grandes (Dapana de la Fuente, 2006).

En todas las estaciones hubo una tendencia al aumento de la temperatura media anual. En las tres últimas décadas la variación promedio de la temperatura media en Asturias fue de  $+0,43^{\circ}\text{C}$  por década. Al analizar las temperaturas medias mensuales, se vio que el aumento de la temperatura se produjo principalmente en los meses de marzo a agosto. Apreciándose que los días con una temperatura mínima inferior a  $0^{\circ}\text{C}$  en los meses de marzo, abril y mayo, tienen tendencia a disminuir. El segundo punto, está relacionado con las altas temperaturas veraniegas, no observándose cambios importantes en el número de días con una temperatura máxima superior a  $30^{\circ}\text{C}$ , aunque si aumentó el número días en los que se alcanzaron los  $25^{\circ}\text{C}$  (Dapana de la Fuente, 2006).

Resumiendo, podemos decir que se produce un aumento de las unidades de frío durante los meses de verano, pero que principalmente se observa un aumento de unidades de calor durante la primavera.

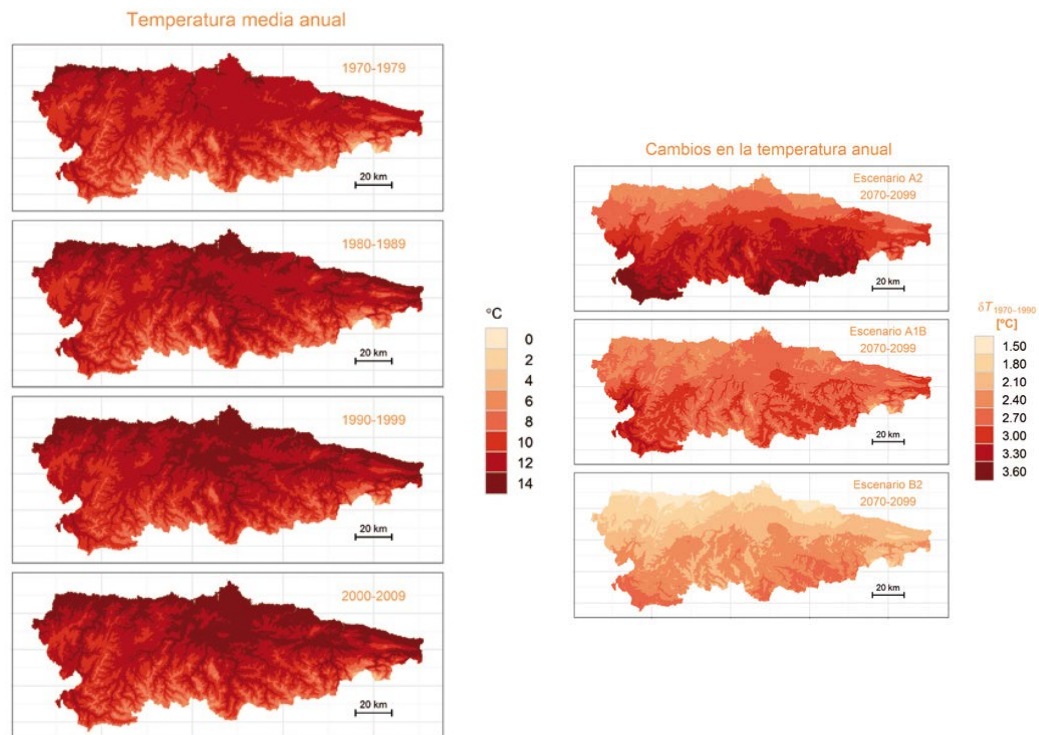


Ilustración 38: Izquierda: temperaturas medias anuales. Derecha: cambios de la temperatura media anual.  
Fuente: Análisis de escenarios de cambio climático en Asturias. Gobierno del P. Asturias

## PRECIPITACIONES

El grado de concordancia entre los valores de las precipitaciones entre las distintas estaciones meteorológicas fue alto, aunque no tanto como en el caso de las temperaturas. Esto probablemente se debe a la presencia en Asturias de cadenas montañosas cerca de la costa que modulan localmente los efectos de los frentes borrascosos provenientes del noroeste, responsables de la mayor parte de las precipitaciones de la región.

Al promediar las precipitaciones anuales de las estaciones meteorológicas, la tendencia fue claramente descendente, con una variación media de las precipitaciones de  $-77$  mm por década (Dapana de la Fuente, 2006).

Durante estos cuatro meses se detectó una reducción de las precipitaciones con una variación promedio de las precipitaciones de  $-50$  mm/década. Esto implica que dos tercios de la disminución de las precipitaciones anuales en Asturias en las últimas décadas se produjeron en estos cuatro meses (Dapana de la Fuente, 2006).

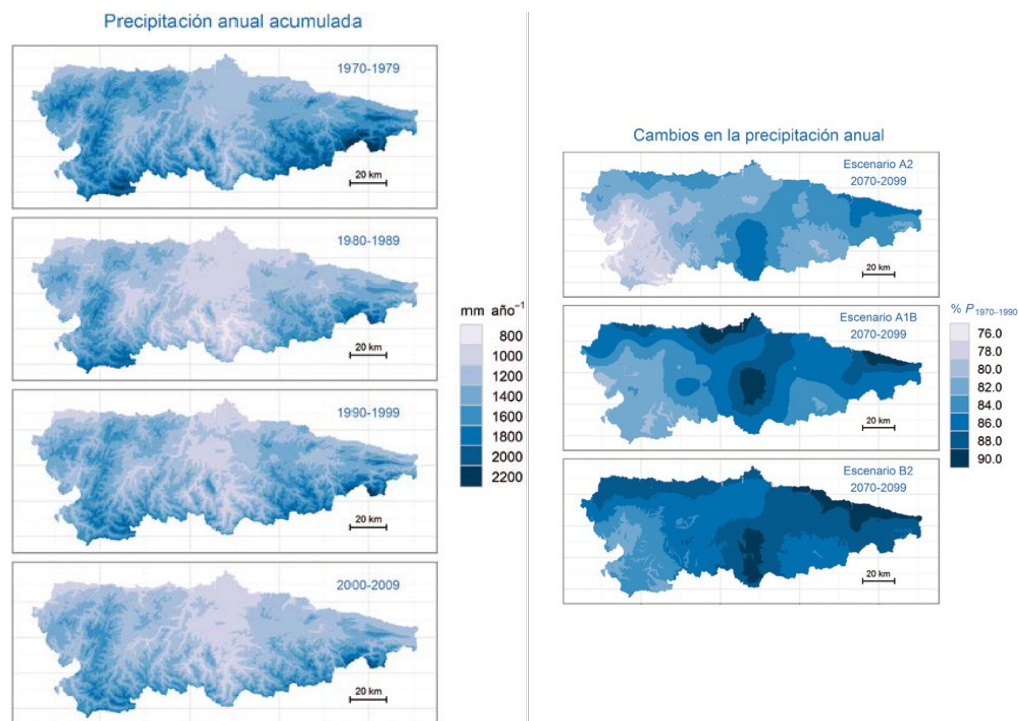


Ilustración 39: Izquierda: precipitaciones medias anuales. Derecha: cambios en las precipitaciones medias actuales. Fuente: *Análisis de escenarios de cambio climático en Asturias. Gobierno del P. Asturias*

En la siguiente tabla se observan el conjunto de datos recogidos en las estaciones situadas en el municipio de Avilés.

Estación meteorológica				Datos de Precipitación acumulada							Datos de Temperatura atmosférica						
Código	Longitud	Latitud	Localidad	Altura(m)	Inicio	Final	Tipo	N <sub>h</sub>	N <sub>l</sub>	N <sub>c</sub>	Inicio	Final	Tipo	N <sub>h</sub>	N <sub>l</sub>	N <sub>c</sub>	
1208H	-5.6990	43.5608	Gijón (Museo)	5	15/03/2001	15/08/2010	m	114	10	8	15/03/2001	15/08/2010	m	114	10	8	
1208	-5.7210	43.5667	Abello (C.G.C.)	70	15/08/1971	15/10/1995	m	254	25	10	—	—	—	—	—	—	
1208U	-5.7410	43.5597	Caicedo	70	15/01/1978	15/10/1996	m	191	19	9	5/01/1978	15/10/1996	m	193	19	12	
1209L	-5.8140	43.4956	Valle de La Zoreda	130	15/05/1994	15/07/2010	m	188	17	10	15/05/1994	15/07/2010	m	178	17	7	
1209R	-5.8520	43.5319	Tamón Nubledo	90	15/01/1994	15/04/2004	m	106	11	4	15/02/1994	15/04/2004	m	112	11	3	
1200C	-5.8700	43.5139	Candanes (C.G.C.)	59	15/08/1971	15/12/1995	m	265	25	14	—	—	—	—	—	—	
1200D	-5.9050	43.5403	Milegra de Avilés (C.G.C.)	40	15/08/1971	15/02/1988	m	193	18	14	—	—	—	—	—	—	
1200E	-5.9040	43.5538	Granga La Luz (Avilés)	20	15/01/1970	15/01/1971	m	12	2	0	—	—	—	—	—	—	
1200H	-5.9090	43.5478	Bucareño de Avilés	45	15/05/1982	15/11/1996	m	68	10	0	—	—	—	—	—	—	
1200I	-5.9140	43.5500	Dolina Pasosa (Avilés)	10	15/01/1983	15/04/2006	m	268	24	17	15/01/1983	15/04/2006	m	259	24	13	
1200J	-5.8490	43.6556	Cabo Peñas	100	15/06/1997	15/08/2010	a	128	13	61	5/06/1997	15/08/2010	a	130	13	7	
1200K	-5.9140	43.5500	Dolina Pasosa (Avilés)	10	15/04/1997	15/05/2006	a	93	10	1	15/04/1997	15/05/2006	a	102	10	5	
1212	-5.9600	43.5778	Arraio	26	15/01/1995	15/01/1975	m	232	21	19	15/01/1995	15/01/1975	m	225	20	16	
1212E	-6.0330	43.5647	Aeropuerto de Asturias (Randón)	127	15/08/1968	15/08/2010	m	501	43	40	15/08/1968	15/08/2010	m	501	43	40	
1213D	-6.0790	43.5250	Solo del Barco-La Isla	8	15/06/2003	15/07/2010	m	86	8	6	15/06/2003	15/07/2010	m	85	8	5	
1214	-5.2270	43.1111	Tarna de Caso	1000	15/01/1970	15/01/1979	m	109	10	9	—	—	—	—	—	—	
1214E	-5.2910	43.1500	Bezas	654	15/09/1969	15/10/1996	m	320	28	21	15/09/1969	15/10/1996	m	321	28	24	
1214I	-5.4100	43.1556	Calaso	717	15/01/1970	15/12/1996	m	318	27	25	—	—	—	—	—	—	
1214O	-5.3770	43.1528	La Felguina	817	15/01/1970	15/11/1980	m	131	11	10	—	—	—	—	—	—	
1214U	-5.3380	43.1819	Campo de Caso	577	15/01/1970	15/08/2010	m	478	41	33	15/01/1970	15/08/2010	m	196	17	12	
1214V	-5.3460	43.1833	Campo de Caso (C.G.C.)	577	15/06/1971	15/04/1991	m	215	21	9	—	—	—	—	—	—	
1215	-5.3380	43.2111	Nieves	760	15/01/1951	15/07/1967	m	195	17	12	—	—	—	—	—	—	
1216	-5.4650	43.2222	Rosaco de Sobrescobio	390	15/09/1969	15/08/2010	m	490	42	39	15/09/1969	15/08/2010	m	449	39	34	
1216O	-5.4800	43.2319	Rosaco-Depuradora	260	15/05/1993	15/08/2010	m	204	18	13	15/05/1993	15/08/2010	m	203	18	13	
1218	-5.5630	43.2458	Pola de Laviana (C.G.C.)	295	15/06/1971	15/12/2008	m	416	38	22	—	—	—	—	—	—	
1218D	-5.5280	43.2356	Muñera	318	15/08/2001	15/06/2010	m	106	10	7	15/11/2001	15/06/2010	m	97	10	5	
1218V	-5.5880	43.2778	Blimea (El Parque)	260	5/05/1987	15/05/1998	m	129	12	7	15/04/1987	15/05/1998	m	124	12	6	
1219	-5.6440	43.2944	Sarna de Langreo (C.G.C.)	214	15/09/1971	15/03/2004	m	344	34	13	—	—	—	—	—	—	
1219U	-5.6690	43.3250	La Nave de Langreo	350	15/05/1979	15/01/1988	m	102	10	8	15/01/1980	15/01/1988	m	97	9	8	

Ilustración 40: datos de las estaciones meteorológicas estudiadas.

Fuente: Análisis de escenarios de cambio climático en Asturias. Gobierno del P. Asturias

## RÉGIMEN DE LOS VIENTOS

El viento es un elemento climático poco conocido en Asturias debido al reducido número de estaciones que lo miden y a la ausencia de elaboraciones estadísticas actualizadas de los datos. En Asturias, el hecho más destacable y de más importancia en cuanto al régimen de vientos es su marcada estacionalidad, hecho fundamental para comprender la alternancia de tipos de tiempo en la región. (Oviedo, 2017)

Durante la estación fría, los vientos en el litoral asturiano son preferentemente del Suroeste (un 34% en Gijón y un 27% en el Aeropuerto en enero). Esta dominancia de vientos del SO responde a una situación meteorológica frecuente en esta época del año, en la que el anticiclón de las Azores se retira hacia el Sur y permite una trayectoria mucho más meridional de las borrascas atlánticas. Los vientos del SO sólo provocan precipitaciones en las zonas de montaña, ya que el efecto de ladera se muestra en las vertientes de León y en las sierras gallegas. La mayoría del territorio asturiano queda en una situación de abrigo tras la Cordillera y las precipitaciones son escasas o nulas. (Oviedo, 2017)

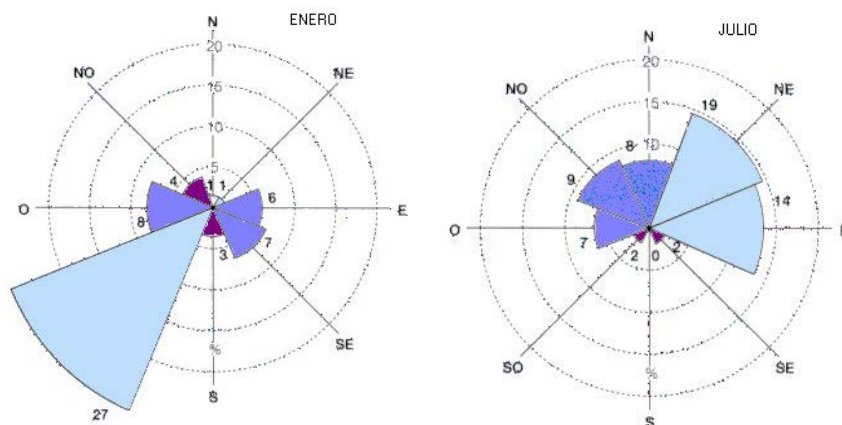


Ilustración 41: Frecuencias medias de vientos en el aeropuerto de Asturias.

Fuente: Universidad de Oviedo

En el verano, la situación es muy diferente, pues el desarrollo del anticiclón de las Azores implica una trayectoria de las borrascas más septentrional, de forma que afectan moderadamente al litoral cantábrico. Dominando en estos meses los vientos del NE, fríos y secos, que traen un tiempo fresco, claro y sin lluvias.

Las precipitaciones en Asturias dependen básicamente de los vientos del Oeste y Noroeste, cuyas frecuencias se mantienen en valores intermedios durante todo el año. El efecto de ladera es más sensible ante situaciones del NO pero ambos se traducen en moderadas a abundantes precipitaciones en toda la región.

Las lluvias más violentas se desencadenan lógicamente con los vientos del Norte, muchas veces de origen polar, y que se encuentran en la barrera orográfica frontalmente a su trayectoria. Estas situaciones son frecuentes en el período estival y contribuyen muy significativamente a las precipitaciones de esta época, la más seca del año. Si ocurren en invierno acarrearán nevadas intensas en las zonas de media y alta montaña, frecuentemente tras una brusca transición climática.

Los vientos del Sur y Sudeste se presentan con poca frecuencia, especialmente en el período estival. Su existencia está ligada a depresiones al Oeste de la Península y acarrea situaciones inversas a las del Norte. Se produce, en estas ocasiones, una fuerte subsidencia del aire tras la Cordillera y en Asturias se experimenta un viento cálido y seco del Sur, en ocasiones muy violento, y cuya humedad relativa puede descender por debajo del 30%.

Cabe señalar finalmente que el régimen de vientos contribuye a moderar aún más el régimen térmico regional, ya que los vientos de componente SO y S (templados a cálidos) son más frecuentes en la estación fría y los del NE y N (templados a fríos) en la cálida.

## EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

En los informes que estudian las variaciones climatológicas se demuestra una relación clara entre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a la actividad humana y los cambios observados en las principales variables climáticas a distintas escalas.

Se establece, por tanto, que la principal causa del cambio climático observado durante las últimas décadas es la intensificación de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y otros GEI asociadas al uso de combustibles fósiles y a los cambios en el uso del suelo. Entre los efectos detectados destacan un aumento de la temperatura troposférica y una subida del nivel medio del mar, tendencias que se prevé continuarán durante siglos, incluso en el caso de que se reduzcan las emisiones (González Taboada & Anadón Álvarez, 2011).

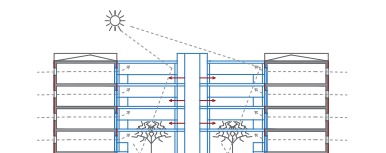
## IMPACTO SOCIO-ECONÓMICO DEL ESTUDIO DEL CLIMA

Los modelos climáticos proporcionan predicciones de las condiciones climáticas futuras bajo distintos escenarios de desarrollo socioeconómico y tecnológico.

De esta manera, los modelos permiten inferir con antelación los impactos derivados del cambio climático, permitiendo que estas proyecciones se puedan integrar en el proceso de toma de decisiones. (Dapana de la Fuente, 2006)

Las predicciones de cambio climático a escala regional son más útiles, en este sentido, tanto para la planificación de políticas de adaptación y mitigación como para la concienciación y transmisión de información a la sociedad.

*INVESTIGACIÓN Y SIMULACIÓN*



## METODOLOGÍA

La metodología utilizada en este trabajo se basará en conocer aquellos parámetros físicos que influyen en las condiciones de confort, así como los utilizados en los programas que utilizan la simulación; entendiendo por simulación:

*“Todo aquel proceso que estima con una frecuencia temporal, por lo general cada hora, lo que ocurre en un determinado lugar condicionado por todos la información y datos proporcionados”*

(ATECYR, 2008)

Es decir, su objetivo principal es conocer que sucede durante un periodo de tiempo dado según los datos que hemos aportado al programa que se encarga de realizar la simulación. Estos datos, así como la información obtenida una vez realizada la simulación dependerán del estudio que pretendamos realizar y del tipo de software escogido.

Lo que se pretende al realizar este tipo de simulaciones es limitar las emisiones de CO<sub>2</sub> y conseguir el mejor confort de los usuarios.

Debemos de tener en cuenta que todas ellas dependen de:

1. Zona climática
2. Condiciones ambientales
3. Tipo de edificación
4. Uso y control de los dispositivos térmicos

A partir simulaciones como estas, llamadas simulaciones energéticas, se puede establecer una certificación energética sobre los edificios e instalaciones de los mismos. Pero nunca debemos confundir estos dos términos.

Ya que una certificación energética de un edificio se trata de un resumen – conclusiones de todos aquellos datos que nos aporta la simulación realizada. Y nos sirve para comparar el comportamiento del edificio estudiado frente a otro de referencia.



## ESTUDIO PREVIO

### PRINCIPIOS EN LOS QUE SE BASAN LOS PROGRAMAS DE SIMULACIÓN

Los programas que realizan simulaciones térmicas se basan en los siguientes principios, analizados en este trabajo para conocer desde un punto de vista físico – matemático el procedimiento y metodología utilizada.

### TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

Para poder interpretar este problema se crean modelos matemáticos, con las hipótesis más comunes, que nos permitan manejar y conocerlo. (ATECYR, 2008)

En cuanto a edificación se aplican los siguientes métodos principalmente.

1. Método de Oppenheim
2. Método abreviado.
3. Método de conductancias o resistencias de radiación.
4. Método de Gebhardt.

Los principios fundamentales son los mismos, solamente cambia la manera de interpretar el problema.

Se basan principalmente en:

1. La materia emite como un cuerpo gris
2. La intensidad de la radiación en la misma se propaga en cualquier dirección.
3. Cada superficie se mantiene a una temperatura uniforme.
4. La radiosidad es la misma en cualquier punto de la superficie.
5. El fluido encerrado, aire húmedo, no participa en el intercambio de radiación.

La radiación se puede comportar como ondas electromagnéticas y como partículas, dependiendo estas de su tamaño en función de la cantidad de energía que emite y la longitud de onda.

Por lo tanto, dependiendo de la temperatura puede haber mucha emisión de fotones en ciertos rangos y muy pocos en otros.

Para saber la cantidad de energía que se intercambia en un rango de radiación infrarroja se puede determinar mediante la diferencia entre la energía radiante que sale de la superficie  $k$  (radiosidad  $j_k$   $W/m^2$ ) y su correspondiente intensidad y aquella que llega a ella (irradiancia  $G_k$   $W/m^2$ ), siendo energía que la superficie obtiene por otros medios (conducción, radiación o convección). (ATECYR, 2008)

$$(1) Q_{rad,k} = q_{rad,k} * A_k = (j_k - g_k) * A_k \quad (W)$$

$Q_{rad,k}$  = energía radiante que sale de una superficie  
 $j_k$  = radiosidad de la superficie ( $W/m^2$ )  
 $g_k$  = irradiancia de la superficie ( $W/m^2$ )  
 $A_k$  = superficie de estudio ( $m^2$ )

En cuanto a la energía que sale de la superficie  $k$ , tiene dos componentes: aquella emitida por el material al encontrarse a una determinada  $T^a$  (origen termofísico) y aquella que se originó en otro lugar y que es el resultado de la reflexión.

$$(2) j_k = \varepsilon_k * e_{n,k} + \rho_k * g_k \quad (W/m^2)$$

$\varepsilon_k$  = emisividad de la materia, independientemente de la longitud de onda  
 $e_{n,k}$  = emisividad como materia negra, se calcula como  $\sigma * T^4$  ( $W/m^2$ ), siendo  $T$  en Kelvin ( $^{\circ}C + 273,15$ )

$$\rho_k = \text{reflectividad de la materia}$$

$$g_k = \text{irradiancia de la superficie (W/m}^2\text{)}$$

Existen tres coeficientes en cuanto a la transferencia de energía de un mismo material: emisividad  $e$ , reflectividad  $r$ , transmisividad  $t$ . Y se relacionan entre sí ya que la suma de estos debe ser la unidad, tomando valores cada uno entre 0 y 1.

Pero para conocer la energía radiante que llega a un cuerpo, también debemos de tener en cuenta el factor de división  $F$  para superficies cuya intensidad de radiación no depende de la dirección. Se entiende como la fracción de energía radiante que sale de una superficie  $k$  y llega a  $l$ . (ATECYR, 2008)

$$F_{k \rightarrow l} = \frac{Q_{\text{radiante que llega a l}}}{Q_{\text{radiante que llega a k}}}$$

Se debe tener en cuenta que no es simétrico, pero si tiene una relación de reciprocidad:

$$A_k * F_{k \rightarrow l} = A_l * F_{l \rightarrow k}$$

Este factor es distinto de cero cuando la superficie es plana o cóncava.

Para calcular la energía que recibe una superficie debemos de sumar todas aquellas aportaciones incluida la de ella misma, si tiene forma de cuenco. De manera que:

$$A_k * g_k = \sum_{l=1}^N j_l A_l * F_{l \rightarrow k}$$

$$j_k = \text{radiosidad de la superficie (W/m}^2\text{)}$$

$$g_k = \text{irradiancia de la superficie (W/m}^2\text{)}$$

$$A_k = \text{superficie de estudio (m}^2\text{)}$$

$$F_{l \rightarrow k} = \text{factor de división}$$

Y así obtenemos la fórmula:

$$(3) \quad g_k = \sum_{l=1}^N j_l * F_{l \rightarrow k}$$

$$j_k = \text{radiosidad de la superficie (W/m}^2\text{)}$$

$$F_{l \rightarrow k} = \text{factor de división}$$

Estas primeras ecuaciones son las básicas que permiten plantear el problema de intercambio radiante. A partir de aquí podemos eliminar  $g_k$

$$(4) \quad Q_{\text{rad},k} = (e_{n,k} - j_k) * \frac{A_k * \epsilon_k}{\rho_k} (W)$$

$$Q_{\text{rad},k} = \text{energía radiante que sale de una superficie}$$

$$e_{n,k} = \text{emisividad como materia negra, se calcula como } \sigma * T^4 \text{ (W/m}^2\text{)}, \text{ siendo } T \text{ en Kelvin (}^{\circ}\text{C} + 273,15)$$

$$j_k = \text{radiosidad de la superficie (W/m}^2\text{)}$$

$$A_k = \text{superficie de estudio (m}^2\text{)}$$

$$\epsilon_k = \text{emisividad de la materia, independientemente de la longitud de onda}$$

$$\rho_k = \text{reflectividad de la materia}$$

$$(5) \quad Q_{\text{rad},k} = (j_k - \sum_{l=1}^N j_l * F_{l \rightarrow k}) * A_k (W)$$

$$Q_{\text{rad},k} = \text{energía radiante que sale de una superficie}$$

$$j_k = \text{radiosidad de la superficie k (W/m}^2\text{)}$$

$$j_l = \text{radiosidad de la superficie l (W/m}^2\text{)}$$

$$F_{l \rightarrow k} = \text{factor de división}$$

$$A_k = \text{superficie de estudio (m}^2\text{)}$$

Por lo tanto, a la hora de estudiar un cuerpo nos encontramos con dos incógnitas ( $Q_{rad,k}$  o  $T_k$  y  $j_k$ ) y dos ecuaciones.

### Método de las radiosidades

De cada superficie se conoce la potencia radiante  $Q_{rad}$  o su temperatura. Con este sistema se resuelve un sistema de N ecuaciones y se calculan las N radiosidades como un paso intermedio. (ATECYR, 2008)

$$Q_{rad,1} = (e_{n,1} - j_1) * \frac{A_1 * \varepsilon_1}{\rho_1} (W)$$

$Q_{rad,1}$  = energía radiante que sale de una superficie

$e_{n,1}$  = emisividad como materia negra, se calcula como  $\sigma * T^4$  ( $W/m^2$ ), siendo T en Kelvin ( $^{\circ}C + 273,15$ )

$j_1$  = radiosidad de la superficie ( $W/m^2$ )

$A_1$  = superficie de estudio ( $m^2$ )

$\varepsilon_1$  = emisividad de la materia, independientemente de la longitud de onda

$\rho_1$  = reflectividad de la materia

$$T_2 = \sqrt[4]{\left[ \frac{Q_{rad,2} * \rho_2}{A_2 * \varepsilon_2} + 1 \right] * \frac{1}{\sigma}}$$

$Q_{rad,2}$  = energía radiante que sale de una superficie

$\rho_2$  = reflectividad de la materia

$A_2$  = superficie de estudio ( $m^2$ )

$\varepsilon_2$  = emisividad de la materia, independientemente de la longitud de onda

$\sigma$  = constante de Stepahn-Boltzman =  $5,67 * 10^{-8}$  ( $W/m^2 K^4$ )

### Método abreviado

Se trata de un caso particular del anterior, ya que se conocen las temperaturas de N superficies y las incógnitas son las potencias radiantes  $Q_{rad}$ , ( $W/m^2$ ). (ATECYR, 2008)

$$([I] - [F_{l,k} * \rho_k]) * \left[ \frac{Q_{rad,k}}{\varepsilon_k * A_k} \right] = ([I] - [F_{l,k}]) * [\sigma * T_k^4]$$

[I] = matriz identidad

$Q_{rad,k}$  = energía radiante que sale de una superficie

$\rho_k$  = reflectividad de la materia

$A_k$  = superficie de estudio ( $m^2$ )

$\varepsilon_k$  = emisividad de la materia, independientemente de la longitud de onda

$F_{l \rightarrow k}$  = factor de división

$\sigma$  = constante de Stepahn-Boltzman =  $5,67 * 10^{-8}$  ( $W/m^2 K^4$ )

$T_k$  = temperatura de la superficie

### Método de las conductancias

Convierte las ecuaciones de manera que asimila el problema de radiación a un problema de transferencia de calor por conducción (símil con la resistencia eléctrica). En este método se conoce la temperatura de todas las superficies. (ATECYR, 2008)

La conductancia  $G_{k,l}$  o su inversa  $R_{k,l}$  nos indican la facilidad o dificultad para el intercambio de la energía entre las superficies k y l.

$$Q_{rad} = \sum_{l=1}^N h_{rad,k,l} * (T_k - T_l) (W)$$

$Q_{rad,k}$  = energía radiante que sale de una superficie

$h_{rad,k,l}$  = coeficiente equivalente de radiación

$T_k$  = temperatura superficie k  
 $T_l$  = temperatura superficie l

$H_{rad,k,l}$  son los coeficientes equivalentes de radiación, de la superficie k con la l. Se obtiene en función de las temperaturas  $T_k$  y  $T_l$ , pero en la simulación de edificios suele tomarse la temperatura interna.

$$h_{rad,k,l} = \frac{(T_k^2 + T_l^2) * (T_k + T_l)}{R_{k,l}} \sigma \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

$T_k$  = temperatura superficie k  
 $T_l$  = temperatura superficie l  
 $R_{k,l}$  = resistencia al paso de la energía entre las superficies k y l  
 $\sigma$  = constante de Stepahn-Boltzman =  $5,67 * 10^{-8}$  (W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>)

### Método de GEBHART

En este método se define un factor de absorción  $B_{k,l}$  como la fracción de energía radiante emitida por  $A_k$ , que es absorbida por  $A_l$  considerando todas las trayectorias reflexivas posibles entre la misma. Se supone que solamente emite  $A_k$ . (ATECYR, 2008)

$$B_{k,l} = \frac{Q_{abs,l,(k)}}{\varepsilon_k * A_k * \sigma * T_k^4}$$

$Q_{abs,l,(k)}$  = energía absorbida por A1 con origen en la emisión  $A_k$   
 $\varepsilon_k$  = emisividad de la materia, independientemente de la longitud de onda  
 $A_k$  = superficie de estudio (m<sup>2</sup>)  
 $\sigma$  = constante de Stepahn-Boltzman =  $5,67 * 10^{-8}$  (W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>)  
 $T_k$  = temperatura superficie k

La cantidad de energía absorbida por  $A_l$  de la energía radiante que le llega es:

$$Q_{abs,l} = \alpha_1 * A_1 * g_1 \text{ (W)}$$

$Q_{abs,l}$  = energía absorbida por A1 con origen en la emisión  $A_k$   
 $\alpha_1$  = difusión térmica (m<sup>2</sup>/s)  
 $A_k$  = superficie de estudio (m<sup>2</sup>)  
 $g_k$  = irradiancia de la superficie (W/m<sup>2</sup>)

Recordando la siguiente relación:

$$g_1 = \sum_{l=1}^N j_l * F_l$$

A partir de estas dos ecuaciones  $B_{k,l}$  y  $Q_{abs,l}$ , obtenemos la siguiente expresión que depende de: La primera es la matriz cofactor de  $[a_{k,l}]$  y la segunda es la matriz transpuesta de los factores de forma.

$$B_{k,l} = \left( \frac{A_k}{A_l} \right) * \left( \frac{\rho_k}{\varepsilon_k} \right) * B_{k,l} = - \frac{1}{D} * [A_{k,i}] * [F_{i,l}]$$

Por lo tanto, la ecuación depende de los siguientes factores:

1. Factores de geometría  $F_l$
2. Reflectancia de cada superficie  $r_1$
3. Emisividad de cada superficie  $e_1$
4. Áreas de cada superficie  $A_1$

Estos coeficientes están fijados por la información geométrica y propiedades radiantes de cada superficie, no dependiendo de las temperaturas.

Otra forma de estimar estos coeficientes es mediante el método abreviado.

$$([I] - [F_{l,k} * \rho_k]) * \left[ \frac{Q_{rad,k}}{\varepsilon_k * A_k} \right] = ([I] - [F_{l,k}]) * [\sigma * T_k^4]$$

Donde Gebhart mostró la relación de reciprocidad:

$$A_k * \varepsilon_k * B_{k,l} = A_l * \varepsilon_l * B_{l,k}$$

$A_k$  = superficie de estudio ( $m^2$ )

$\varepsilon_k$  = emisividad de la materia, independientemente de la longitud de onda

$B_{k,l}$  = factor de absorción de  $k$  a  $l$

Siendo los coeficientes:

$$B_{k,l} = ([I] - [F_{l,k} * \rho_k])^{-1} * ([\alpha_l * F_{l,k}])$$

Para saber la cantidad de radiación neta que sale de cierta superficie se debe de restar la que esta absorbe. La expresión es:

$$Q_{rad,k,l} = A_k(\varepsilon_k * \sigma * T_k^4) B_{k,l} - A_l(\varepsilon_l * \sigma * T_l^4) * B_{l,k}$$

$Q_{abs,l,(k)}$  = energía absorbida por  $A_l$  con origen en la emisión  $A_k$

$A_k$  = superficie de estudio ( $m^2$ )

$\varepsilon_k$  = emisividad de la materia, independientemente de la longitud de onda

$\sigma$  = constante de Stephahn-Boltzman =  $5,67 * 10^{-8}$  ( $W/m^2 K^4$ )

$T_k$  = temperatura superficie  $k$

$B_{k,l}$  = factor de absorción de  $k$  a  $l$

Y comparando con los coeficientes de Hottel y Sarofim:

$$A_k * \varepsilon_k * B_{k,l} = S_k * S_l = A_k * f_{k,l}$$

$$S_k * S_l = \frac{Q_{rad,k,l}}{\sigma * T_k^4}$$

$S_k$  = área total de intercambio  $k$

$S_l$  = área total de intercambio  $l$

De forma que  $S_k$ ,  $S_l$  y  $f_{k,l}$  están formados a partir de la geometría y propiedades como los coeficientes  $B_{k,l}$  y se pueden obtener a partir de ellos.

Así la expresión, usando estos coeficientes, de la cantidad de energía radiante neta que sale de una superficie dada es<sup>5</sup>:

$$Q_{rad,k} = A_k(\varepsilon_k * \sigma * T_k^4) - \sum_{l=1}^N S_k * S_l * (\sigma * T_l^4)$$

$Q_{abs,l,(k)}$  = energía absorbida por  $A_l$  con origen en la emisión  $A_k$

$A_k$  = superficie de estudio ( $m^2$ )

$\varepsilon_k$  = emisividad de la materia, independientemente de la longitud de onda

$\sigma$  = constante de Stephahn-Boltzman =  $5,67 * 10^{-8}$  ( $W/m^2 K^4$ )

$T_k$  = temperatura superficie  $k$

$S_k$  = área total de intercambio  $k$

$S_l$  = área total de intercambio  $l$

<sup>5</sup> Nota: para un mejor desarrollo de las fórmulas leer "Guía técnica de procedimientos y aspectos de simulación de instalaciones térmicas en edificios". Gobierno de España. Ministerio de Industria – Turismo y Comercio.

## TEMPERATURA SOL-AIRE

El concepto de temperatura sol-aire engloba todos los fenómenos exteriores de intercambio de energía. (ATECYR, 2008)

El balance que se produce se puede ver en la siguiente imagen y se define por la siguiente expresión:

$$q_{cond}^{Ext} = h_{conv}^{Ext}(T_{seca}^{Ext} - T_{pared}^{Ext}) + \alpha I_T(n, \gamma) + q_{rad}^{OL}$$

$I_T$  = la radiación total ( $W/m^2$ ) que incide sobre la superficie que posee cierta orientación.

$h_{conv}^{Ext}$  = coeficiente equivalente de convección exterior

$T_{seca}^{Ext}$  = temperatura exterior seca

$T_{pared}^{Ext}$  = temperatura exterior seca de la pared

$\alpha$  = difusión térmica ( $m^2/s$ )

$q_{rad}^{OL}$  = energía radiante

Se analiza como si se tratase de un recinto cerrado con tres temperaturas diferentes correspondientes a:  $T^a$  cielo,  $T^a$  resto y  $T^a$  pared.

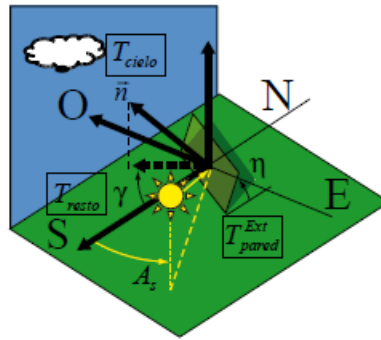


Ilustración 42: Factores que influyen en la Temperatura sol-aire. Fuente: Guía técnica de procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios.

Definiéndose por la siguiente expresión la temperatura sol-aire:

$$T_{sol-aire} = T_{seca}^{Ext} + \frac{\alpha_{OC} I_T(n, \gamma)}{h_{conv}^{Ext} + h_{rad}} - \frac{h_{rad} \Delta T_{cielo-resto}}{h_{conv}^{Ext} + h_{rad}}$$

$T_{seca}^{Ext}$  = temperatura exterior seca

$h_{conv}^{Ext}$  = coeficiente equivalente de convección exterior

$\alpha$  = difusión térmica ( $m^2/s$ ) de onda larga

$I_T$  = la radiación total ( $W/m^2$ ) que incide sobre la superficie que posee cierta orientación.

$h_{rad}$  = coeficiente equivalente de radiación

$\Delta T_{cielo-resto}$  = media anual de la temperatura que no es del cielo ni de la pared

Que permite conocer la cantidad de calor que entra por conducción desde el exterior en un instante dado.



## TRANSFERENCIA DE CALOR UNIDIMENSIONAL MULTICAPA

La resolución de la transferencia de calor multicapa, por ejemplo, de un muro, pasa por la resolución de la siguiente ecuación (ATECYR, 2008):

$$\frac{\partial T^2}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

$\alpha$  = difusión térmica ( $m^2/s$ )

$$\alpha = \frac{k}{\rho * cp}$$

$k$  = conductividad térmica del material ( $W/mK$ )

$\rho$  = densidad ( $kg/m^3$ )

$cp$  = capacidad calorífica ( $J/kgK$ )

Que debe ser aplicada sobre cada capa del material según las condiciones del entorno. Al hacerlo se realizan las siguientes hipótesis:

1. El material es isótropo
2. El calor, la energía, fluye perpendicularmente al muro.
3. La temperatura en el contacto de los materiales es la misma.

Las excitaciones de la capa son debidas a los cambios de  $T^a$ . Se pueden clasificar o definir en:

1. Impulso de temperatura de duración infinitamente pequeña y magnitud infinitamente grande.
2. Un escalón unitario de temperatura.
3. Una subida en rampa de temperatura con cierta pendiente.

Estas son funciones generalizadas y cada una de ella es la derivada generalizada de la siguiente.

Pero lo que se pretende buscar es el flujo de calor ( $W/m^2$ ) que llega por conducción al mismo lado o al lado opuesto de la excitación. Llamando a estas respuestas  $X(t)$ ,  $Y(t)$  y  $Z(t)$  en función de la localización del par.

Se puede ver a continuación una representación de las respuestas y excitaciones.

La respuesta en la densidad de flujo de calor por la cara exterior de un muro debido a cambios de temperatura es igual a la respuesta en la cara interior debida al cambio exterior.

Para resolver la respuesta de una capa se debe resolver la ecuación (1) que implica que la capa está a  $0^\circ C$  y que la temperatura en la cara exterior se levanta súbitamente  $1^\circ C$ , para ello se usa la transformada de Laplace en la variable temporal. (ATECYR, 2008)

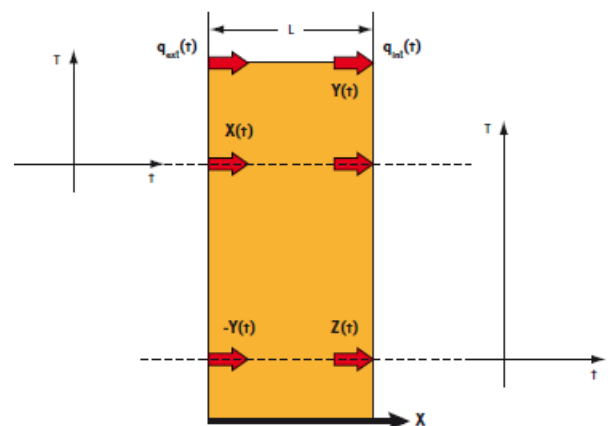


Ilustración 43 Representación de las respuestas y excitaciones.  
Fuente: Guía técnica de procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios.

$$L \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}(x, t) \right) = \frac{\partial^2 LT}{\partial x^2}(x, s) = \frac{d^2 LT}{dx^2}(x, s)$$

$$L \left( \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}(x, t) \right) = \frac{1}{\alpha} [s * LT - T(x, 0)] = \frac{s}{\alpha} LT(x, s)$$

$\alpha = \text{difusión térmica (m}^2/\text{s)}$

Finalmente podemos relacionar la temperatura y el flujo de calor a un lado de la capa, con la  $T^a$  y el flujo de calor al otro lado. Al ser un modelo lineal, la densidad del flujo de calor en un cierto punto es la suma de aquel debido a las excitaciones a un lado de la capa más las debidas excitaciones en el otro lado.

El comportamiento dinámico de una capa está determinado por dos variables:

R, siendo la resistividad térmica de la capa.

$$R = \frac{L}{k}$$

$L = \text{espesor del muro (m)}$

$k = \text{conductividad térmica del material (W/mK)}$

C la capacidad de almacenamiento de energía por unidad de superficie.

$$C = \rho * cp * L$$

$\rho = \text{densidad (kg/m}^3\text{)}$

$cp = \text{capacidad calorífica (J/kgK)}$

$L = \text{espesor del muro (m)}$

Sin embargo, los muros se encuentran formados por capas de materiales dispuestas en serie. De manera que la temperatura de un lado de la capa es la temperatura del otro lado de la capa, y así con el flujo de calor. Despejando la temperatura y la densidad de flujo, así como utilizar la temperatura del aire o equivalente a la de excitación se obtienen las siguientes ecuaciones (ATECYR, 2008):

$$q_{ext} = h_{ext} * (T_{ext}(t) - T(0, t))$$

$q_{ext} = \text{energía del exterior}$

$h_{ext} = \text{coeficiente equivalente de radiación externa}$

$T_{ext}(t) = \text{temperatura exterior}$

$T(0, t) = \text{temperatura}$

$$Lq_{ext}(s) = h_{ext} * (LT_{ext}(s) - LT(0, t)) = Lq(0, s)$$

$$q_{int} = h_{int} * (T(L, t) - T_{int}(t))$$

$q_{int} = \text{energía del interior}$

$h_{int} = \text{coeficiente equivalente de radiación interior}$

$$Lq_{int} = h_{int} * (LT(L, s) - LT_{int}(s)) = Lq(L, s)$$

A partir de aquí se puede obtener el flujo para un muro multicapa, teniendo en cuenta que el producto de matrices no es conmutativo y que el cambio de orden de las capas cambia la dinámica.

Una vez que se encuentra en régimen estacionario el orden de las capas no influye ya que el flujo sólo depende de la resistencia al flujo del muro.

La matriz de transferencia multicapa es:

$$\begin{bmatrix} Lq(0, s) \\ Lq(L, s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X(s) & -Y(s) \\ Y(s) & Z(s) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} LT(0, s) \\ LT(L, s) \end{bmatrix}$$

$X(s)$  = factor x de respuesta del muro

$Y(s)$  = factor y de respuesta del muro

$Z(s)$  = factor z de respuesta del muro

#### Transformación de las funciones de transferencia en factores de respuesta

Los programas de simulación disponen de información meteorológica de forma periódica, de manera que los factores de respuesta nos dan un triángulo el cual es la combinación lineal de la respuesta a una rampa con pendiente 1°C/h.

La respuesta total es la suma a la suma de la sucesión de triángulos de diferente altura (temperatura) decalados un cierto paso del tiempo (1h). Siendo la respuesta la suma de las respuestas del triángulo, matemáticamente:

$$q(L, j\Delta t) = \sum_{n=0}^{\infty} y(n) * T(0, j\Delta t - nj\Delta t)$$

$$j = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Si se tiene en cuenta las variaciones de  $T^o$  en el interior la fórmula sería:

$$q(L, j\Delta t) = \sum_{n=0}^{\infty} y(n) * T(0, j\Delta t - nj\Delta t) + \sum_{n=0}^{\infty} z(n) * T(0, j\Delta t - nj\Delta t)$$

$$j = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Del mismo modo, para el flujo de calor exterior:

$$q(0, j\Delta t) = \sum_{n=0}^{\infty} x(n) * T(0, j\Delta t - nj\Delta t) + \sum_{n=0}^{\infty} y(n) * T(0, j\Delta t - nj\Delta t)$$

Estas expresiones aparecen en los manuales de programas de simulación como LIDER, CALENER, EnergyPlus, ...

Las funciones de transferencia  $X(s)$ ,  $Y(s)$  y  $Z(s)$  contienen toda la información sobre la respuesta dinámica del muro. Caracterizándose por la localización de sus polos, los cuales indican respuestas oscilantes del sistema antes una excitación. Para una frecuencia  $j\omega 0$ :  $X(j\omega 0)$  nos da la admitancia exterior,  $Y(j\omega 0)$  la impedancia y  $Z(j\omega 0)$  la admitancia interior. Sólo pueden ser números reales negativos, ya que dan respuestas no oscilantes que desaparecen en el tiempo.

Usar la información para obtener factores de respuesta

La respuesta ante una rampa con cierta pendiente se puede obtener como las transformadas inversas de Laplace del producto de la función de transferencia correspondiente, siendo los polos útiles para hallar esta.

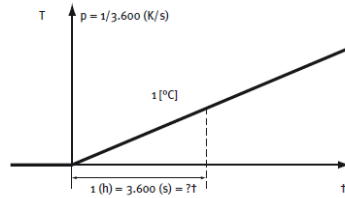


Ilustración 44: Relación entre el tiempo y la temperatura. Fuente: Guía técnica de procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios

$$Lq_{rampa}(L, s) = \frac{p}{s^2 BB(s)}$$

$$p = \frac{1}{3600}$$

Si se aplica la teoría de números complejos, una función compleja  $f(s)$  uniforme, se puede expresar utilizando la teoría de residuos de los números complejos, que dice que la función se puede descomponer como una suma infinita:

$$f(s) = \sum_{k=0}^{\infty} G P_k(s)$$

Donde:

$GP_k(s)$  = parte principal de la expansión de la función  $f(s)$  en serie de McLaurin.

$$GP_k(s) = \frac{A_m}{(s - s_n)} + \frac{A_{m-1}}{(s - s_n)^{m-1}} + \dots + \frac{A_1}{(s - s_n)^1}$$

De manera que la función de la rampa se debe antitransformar quedando de la siguiente forma:

$$Lq_{rampa}(L, s) = \frac{p}{s^2 BB(s)} = p * \frac{p}{s^2 BB(s)} = p * \left[ \frac{C_1}{s^2} + \frac{C_2}{s} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{A_{(k)}}{(s - x_k)} \right]$$

$$p = \frac{1}{\Delta t}$$

Caculo de los residuos de una función

Los residuos son números reales, que una vez obtenidos pueden aplicarse para invertir la fórmula de Laplace. Se calculan mediante:

$$A_m = \lim_{s \rightarrow s_n} [f(s) - (s - s_n)^m]$$

$$A_{m-1} = \lim_{s \rightarrow s_n} \left[ \frac{d[f(s) - (s - s_n)^m]}{ds} \right]$$

$$A_1 = \frac{1}{(m-1)!} \lim_{s \rightarrow s_n} \left[ \frac{d^{m-1}[f(s) - (s - s_n)^m]}{ds^{m-1}} \right]$$

Para  $s=0$  tendríamos 2 residuos:

Mientras que para  $s = -x$  solamente 1 residuo.

- Método de la transformada Z

Se trata de muestrear la salida con la misma cadencia que en el método anterior y obtener la relación entre ambas.

Para muestrear una señal continua se debe crear una función "extraña" formada por impulsos decalados. Dándonos la función Delta de Dirac, aplicación del impulso sobre la función continua que nos da el valor de la función continua sólo en el momento del impulso.

Los pasos a seguir son:

1. Encontrar los polos del muro
2. Calcular  $D(z)$  denominador de la función de transferencia

$$D(z) = \prod_{k=1}^{\infty} (1 - e^{-x_k \Delta t} * z^{-1})$$

3. Evaluar la respuesta temporal a una rampa a cada paso del tiempo y con ello obtener  $O^*(t)$  salida muestreada
4. Evaluar los coeficientes usando la siguiente expresión:

La aplicación de todo lo anterior a un muro da como resultado la siguiente expresión, usando los factores de respuesta:

$$ax_i = \sum_{k=0}^j x_k * b_{j-k}$$

$$ay = \sum_{k=0}^j y_k * b_{j-k}$$

$$az_i = \sum_{k=0}^j z_k * b_{j-k}$$

$$\begin{aligned}
q_{ext}(n\Delta t) &= \sum_{j=0}^m T_{ext}((n-j)\Delta t) * ax_i \\
&\quad - \sum_{j=0}^m T_{int}((n-j)\Delta t) * ay_i - \left\{ \sum_{j=0}^m q_{ext}((n-j)\Delta t) * b_j \right\} \\
q_{int}(n\Delta t) &= \sum_{j=0}^m T_{ext}((n-j)\Delta t) * ay_i \\
&\quad - \sum_{j=0}^m T_{int}((n-j)\Delta t) * az_i - \left\{ \sum_{j=0}^m q_{int}((n-j)\Delta t) * b_j \right\}
\end{aligned}$$

Calculándose  $b_j$ :

$$\begin{aligned}
b_0 &= 1 \\
b_1 &= - \sum_{k=1}^{\infty} e^{-x_k \Delta t} \\
b_2 &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{k=m+1}^{\infty} e^{-x_k \Delta t} * e^{-x_k \Delta t} \\
b_3 &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{k=m+1}^{\infty} \sum_{j=k+1}^{\infty} e^{-x_k \Delta t} * e^{-x_k \Delta t} * e^{-x_k \Delta t}
\end{aligned}$$

## OBTENCIÓN DE LOS FACTORES DE RESPUESTA DE MUROS A LA EXCITACIÓN DIARIA

Para conocer la excitación diaria debemos conocer primero la expresión que proporciona la cantidad de calor que le llega a un muro, por convención, al interior de un espacio (ATECYR, 2008).

$$q_h = \sum_{j=0}^n Z_j * T_{i,h-j\Delta t} + \sum_{j=0}^n Y_j * T_{e,h-j\Delta t}$$

$q_h \equiv W/m^2$  flujo de calor por conducción.

$T_{i,h-j\Delta t} \equiv$  temperatura interior hace  $j$  pasos de tiempo  $\Delta t = 1$  hr.

$T_{e,h-j\Delta t} \equiv$  temperatura exterior hace  $j$  pasos de tiempo  $\Delta t = 1$  hr.

$Z_j, Y_j \equiv$  factores de respuesta en el instante  $j$

$n \equiv$  número entero lo suficientemente grande en función de la respuesta del muro.

Pero para el caso de periodicidad diaria necesitaríamos saber 24 coeficientes, quedando la expresión como:

$$q_h = \sum_{j=0}^{23} Z_{pj} * T_{i,h-j\Delta t} + \sum_{j=0}^{23} Y_{pj} * T_{e,h-j\Delta t}$$

Pudiendo simplificarse de la siguiente forma si entendemos que la temperatura interior no varía y es constante.

$$q_h = \sum_{j=0}^{23} Y_{pj} * (T_{e,h-j\Delta t} - T_i)$$

$q_h \equiv W/m^2$  flujo de calor por conducción

$Y_{p,j} \equiv$  factores de respuesta en el instante  $j$

$T_{e,h-j\Delta t} \equiv$  temperatura exterior hace  $j$  pasos de tiempo  $\Delta t = 1$  hr.

$T_i \equiv$  temperatura interior constante

De esta manera nos podemos hacer una idea de la admitancia de los recintos y la cantidad de energía o potencia que hace falta a la hora de instalar o escoger una instalación que nos asegure las condiciones de confort.



## RESPUESTA POR EL MÉTODO DE TRANSICIÓN DE ESTADOS

Hoy en día conocemos existen programas de simulación que nos permiten cambiar el tiempo de muestreo, como EnergyPlus. Pero otra posibilidad de conocer el flujo de calor consiste en cambiar el punto de vista. (ATECYR, 2008)

En vez de observar los elementos como simultáneos se plantea la posibilidad de ir resolviendo los eventos de forma independiente. De manera que la cadena de eventos da como resultado la simulación. Cada componente es llamado en función de sus necesidades de reacción ante las excitaciones.

El sistema se observa desde sus señales de salida y no desde el eje temporal universal para todos sus componentes. Permitiendo una mejor gestión de controles bruscos.

### Método de transición de estados

Si queremos conocer la respuesta que da un muro ante una excitación dentro o fuera debemos conocer el flujo de calor (ATECYR, 2008):

$$\theta(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k * e^{-x_k t}$$

Ozaki y Watanable propusieron otra función generalizada para dar respuesta al flujo de calor de un muro, cuya integral coincide con la energía que pasa a través de este.

$$\theta(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k * e^{-x_k t} + Q\delta(t)$$

$$Q = \sum_{k=m+1}^{\infty} \frac{A_k}{x_k} \text{ (J / m}^2\text{K)}$$

Para poder variar la cadencia de la señal de entrada según la necesidad es necesario precisar de la función trapezoidal. La cual se puede obtener muestreando la señal de salida con la transformada de Laplace.

Después de una serie de transformaciones y teniendo en cuenta que a partir de una señal de entrada  $U(z)$  se obtiene una de salida  $Y(z)$ . Podremos definir los estados internos del muro  $W_k$  siendo:

$$W_{k,n}^i = W_{k,n-1}^i * \varphi_k + \frac{1 - \varphi_k}{x_k * T} [(A_k^{ie} * T_{e,n} - A_k^{ii} * T_{i,n}) - (A_k^{ie} * T_{e,n-1} - A_k^{ii} * T_{i,n-1})]$$

$W_{k,n}^i$  = estado interno de estudio

$W_{k,n-1}^i$  = estado interno anterior al del estudio

$T = \Delta t$  que puede ir cambiando "n=n+1"

$A_k^{ie}$  = área del elemento interior-exterior m<sup>2</sup>

$T_{e,n}$  = temperatura exterior, grados Kelvin

$A_k^{ii}$  = área interior del elemento m<sup>2</sup>

$T_{i,n}$  = temperatura interior del elemento, grados Kelvin

$T_{e,n-1}$  = temperatura exterior del estado anterior, grados Kelvin

$T_{i,n-1}$  = temperatura interior del estado anterior, grados Kelvin

$$q_{i,n} = A_0 * T_{e,n} + A_0 * T_{i,n} + \sum_{k=1}^m W_{k,n}^i + \frac{Q^{ie}}{T} (T_{e,n} - T_{e,n-1}) + \frac{Q^{ii}}{T} (T_{i,n} - T_{i,n-1})$$

$q_{i,n}$  = transferencia de calor en un estado interno  $n$

$A_0$  = área del elemento

$T_{e,n}$  = temperatura exterior, grados Kelvin

$T_{i,n}$  = temperatura interior del elemento, grados Kelvin

$W_{k,n}^i$  = estado interno de estudio

$Q^{ie}$  = energía del interior al exterior

$T = \Delta t$  que puede ir cambiando "n=n+1"

$T_{e,n-1}$  = temperatura exterior del estado anterior, grados Kelvin

$Q^{ii}$  = energía interior

$T_{i,n-1}$  = temperatura interior del estado anterior, grados Kelvin

Por lo tanto, la manera de proceder para obtener la evolución del flujo de calor interior sería:

1. Se ponen los estados a cero  $W_{k,0}^i = 0 * n = 0$
2. Se establece un paso de tiempo  $T = \Delta t$  que puede ir cambiando "n=n+1"
3. Se calculan los  $\{\varphi_k\}$  para ese paso de tiempo
4. Se calcula la evolución de los m k-estados interiores con las temperaturas anteriores y las nuevas  $W_{k,n}^i$
5. Se suman los estados y con la ecuación XX se evalúa el flujo de calor interno.
6. Se repite el proceso desde el punto 2.

Como ejemplo se obtiene la siguiente gráfica, cálculo de una señal senoidal de temperatura fuera de 10° y de amplitud y media 0°, como la que se puede ver a continuación, siendo:

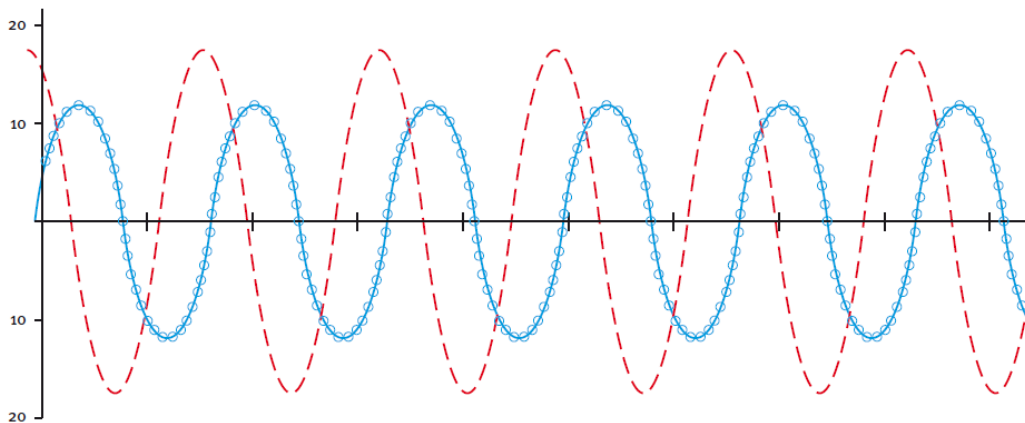


Ilustración 45: Respuesta por el método de transición de estados. Fuente: Guía técnica de procedimientos y aspectos de simulación de instalaciones térmicas en edificios.

En rojo: las respuestas instantáneas suponiendo que depende de la conductividad y el muro no acumula energía

En azul: el cálculo exacto

Los círculos: muestran el valor obtenido con el método de transición de estados

## FACTORES DE RESPUESTA DE UNA ZONA

Los factores de respuesta de una zona son conceptos utilizados en simulación y cálculo de caras térmicas de edificios, por ordenador, cuya intención es obtener pares (excitación-respuesta) muestreados cada cierto tiempo (1 hora). Intentando obtener fotografías de la evolución del proceso (ATECYR, 2008).

Se componen de un sistema de ecuaciones que recojan las variables que influyen sobre la temperatura en una determinada zona.

Para ello se consideran los siguientes procesos:

1. Conducción hacia la superficie interior que da al volumen
2. Convección desde las superficies interiores al aire asociado al volumen.
3. Radiación de onda larga OL entre las superficies
4. Fuentes radiantes que inciden en el interior: solar y luces.

Para un instante de muestreo  $n\Delta t$  cada superficie interior que da al volumen debe cumplir el balance:

$$(q_{conv,i} + q_{rad,OL} + q_{cond,i} + q_{entrada,i})n = 0$$

$q_{conv,i}(n)$  = energía de convección de un elemento  $i$

$q_{rad,OL}(n)$  = energía radiante con longitud de onda larga de un elemento  $i$

$q_{cond,i}$  = energía por conducción de un elemento  $i$

$q_{entrada,i}$  = energía inicial

Siendo:

$$q_{conv,i}(n) = h_{int}(T_{local}(n) - T_j(n))$$

$q_{conv,i}(n)$  = energía de convección de un elemento  $i$

$h_{int}$  = coeficiente equivalente de radiación interna

$T_{local}$  = temperatura del local

$T_j$  = temperatura del elemento

$$q_{rad,OL}(n) = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_{i,j} * A_j} (T_{local}(n) - T_j(n))$$

$q_{rad,OL}(n)$  = energía radiante con longitud de onda larga de un elemento  $i$

$R_{i,j}$  = resistencia al paso de la energía entre las superficies  $i$  y  $j$

$A_j$  = superficie del elemento

$T_{local}$  = temperatura del local

$T_j$  = temperatura del elemento

Para el calor de conducción se usó el circuito estrella. Utilizando los factores de respuesta del muro  $Y$  y  $Z$  del muro  $j$ , siendo  $T_j$  la historia de las temperaturas en la superficie "pareja" de la superficie  $j$ .

$$q_{cond,i}(n) = \sum_{m=0}^{\infty} -y_{j,m} * T_j(n - m) + \sum_{m=0}^{\infty} z_{j,m} * T_j(n - m)$$

$q_{cond,i}(n)$  = energía de conducción de un elemento  $i$

$y_{j,m}$  = factor de respuesta del muro  $j$

$T_j$  = historial de temperaturas en la superficie  $j$

$z_{j,m}$  = factor de respuesta del muro  $j$

Sustituyendo en la primera ecuación obtenemos:

$$\left[ z_{j,0} - h_{int} - \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_{i,j} * A_j} \right] * T_i(n) + \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_{i,j} * A_j} T_i(n) \\ = - \sum_{m=0}^{\infty} z_{j,m} * T_j(n-m) + \sum_{m=0}^{\infty} y_{j,m} * T_j(n-m)$$

$z_{j,m}$  = factor de respuesta del muro  $j$

$h_{int}$  = coeficiente equivalente de radiación interna

$R_{i,j}$  = resistencia al paso de la energía entre las superficies  $i$  y  $j$

$A_j$  = superficie del elemento

$T_i$  = historial de temperaturas en las superficie  $i$

$z_{j,m}$  = factor de respuesta del muro  $j$

$T_j$  = historial de temperaturas en las superficie  $j$

$y_{j,m}$  = factor de respuesta del muro  $j$

Debemos de tener en cuenta que para cada objeto físico asociado a una superficie que delimita un volumen existe una ecuación como esta y que las temperaturas  $T_j(n)$  están ligadas a la parte de radiación de onda larga.

Si se tratara un cerramiento que diera al exterior, la ecuación sería usando el concepto de  $T_{sol-aire}$  y teniendo en cuenta que los factores son ahora  $X$  e  $Y$ <sup>6</sup>:

$$(q_{sol-aire} + q_{cond,j})n = 0$$

$q_{sol-aire}$  = energía que hay en el aire proveniente del sol

$q_{conv,i}(n)$  = energía de convección de un elemento  $i$

$$(y_{j,0} - h_{eq}) * T_j(n) = - \sum_{m=0}^{\infty} y_{j,m} * T_j(n-m) - \sum_{m=0}^{\infty} x_{j,m} * T_{sol-aire}(n-m) - h_{eq} * T_{sol-aire}(n)$$

$y_{j,0}$  = factor inicial de respuesta del muro  $j$

$h_{eq}$  = coeficiente equivalente de radiación

$T_j$  = historial de temperaturas en las superficie  $j$

$y_{j,m}$  = factor de respuesta del muro  $j$

$x_{j,m}$  = factor de respuesta del muro  $j$

$T_{sol-aire}$  = temperatura sol aire

<sup>6</sup> Nota: para un mejor desarrollo de las fórmulas leer "Guía técnica de procedimientos y aspectos de simulación de instalaciones térmicas en edificios". Gobierno de España. Ministerio de Industria – Turismo y Comercio.

# PRINCIPIOS EN LOS QUE SE BASAN LOS PROGRAMAS DE SIMULACIÓN

## TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

### PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

1. La materia emite como un cuerpo gris.
2. La intensidad de radiación se propaga en cualquier dirección.
3. Cada superficie se mantiene a una  $T^{\circ}$  constante.
4. La radiosidad es la misma en cualquier punto de la superficie.
5. El fluido encerrado no participa en el intercambio de radiación.

### MÉTODOS

#### Método de Oppenheim

$$Q_{rad,i} = (e_{n,i} - j_i) \cdot \frac{A_{1,i} \cdot \epsilon_i}{\rho_i} (W) \quad T_z = \sqrt{\left[ \frac{Q_{rad,z} \cdot \rho_z}{A_{1,z} \cdot \epsilon_z} \right] + \frac{1}{\sigma}}$$

#### Método abreviado

$$([I] - [F_{L,k} \cdot \rho_k]) \cdot \left[ \frac{Q_{rad,k}}{\epsilon_k \cdot A_k} \right] = ([I] - [F_{L,k}]) \cdot [\sigma \cdot T_k^4]$$

#### Método resistencias de radiación

$$Q_{rad} = \sum_{k=1}^n h_{rad,k,l} \cdot (T_k - T_l) (W) \quad h_{rad,k,l} = \frac{(\sigma_k^4 + \sigma_l^4) \cdot (T_k + T_l)}{R_{kl}} \sigma (W/m^2 K)$$

#### Método de Gbhard

$$B_{k,l} = \frac{Q_{abs,l}(k)}{\epsilon_k \cdot A_k + \sigma + T_k^4} \quad ([I] - [F_{L,k} \cdot \rho_k]) \cdot \left[ \frac{Q_{rad,k}}{\epsilon_k \cdot A_k} \right] = ([I] - [F_{L,k}]) \cdot [\sigma \cdot T_k^4]$$

## TEMPERATURA SOL - AIRE

Se utiliza para conocer la cantidad de calor que entra por conducción.

$$T_{sol-aire} = T_{seca}^{Ext} + \frac{\alpha_{OC} I_T(n, \gamma)}{h_{conv}^{Ext} + h_{rad}} - \frac{h_{rad} \Delta T_{cielo-resto}}{h_{conv}^{Ext} + h_{rad}}$$

## TRANSFERENCIA DE CALOR UNIDIMENSIONAL MULTICAPA

### HIPÓTESIS

1. El material es isótropo
2. La energía fluye  $\perp$
3. La  $T^{\circ}$  en contacto con los materiales es la misma.

Lo que se pretende buscar es el flujo de calor  $W/m^2$  que llega por conducción a un lado del muro.

### FÓRMULA

$$\frac{\partial T^2}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\alpha = \text{difusión térmica (m}^2/\text{s)} \\ \alpha = \frac{k}{\rho \cdot cp} \\ k = \text{conductividad térmica del material (W/mK)} \\ \rho = \text{densidad (kg/m}^3) \\ cp = \text{capacidad calorífica (J/kgK)}$$

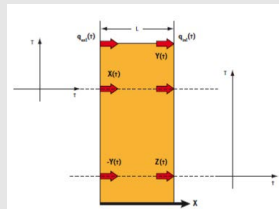


Ilustración 1. Representación de las respuestas y excitaciones.  
Fuente: Guía técnica de procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios.

### Comportamiento dinámico de una capa de muro

#### Resistencia

$$R = \frac{L}{k}$$

$L$  = espesor del muro (m)  
 $k$  = conductividad térmica del material (W/mK)

#### Capacidad

$$C = \rho \cdot cp \cdot L$$

$\rho$  = densidad (kg/m<sup>3</sup>)  
 $cp$  = capacidad calorífica (J/kgK)  
 $L$  = espesor del muro (m)

### Flujo de muro multicapa

$$\begin{bmatrix} Lq(0,s) \\ Lq(L,s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X(s) & -Y(s) \\ Y(s) & Z(s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} LT(0,s) \\ LT(L,s) \end{bmatrix}$$

$X(s)$  = factor x de respuesta del muro  
 $Y(s)$  = factor y de respuesta del muro  
 $Z(s)$  = factor z de respuesta del muro

## FACTORES DE RESPUESTA DE MUROS A LA EXCITACIÓN DIARIA

Cantidad de calor que llega a un muro por convección.

$$q_h = \sum_{j=0}^n Z_j \cdot T_{i,h-j\Delta t} + \sum_{j=0}^n Y_j \cdot T_{e,h-j\Delta t}$$

$q_h \equiv W/m^2$  flujo de calor por conducción.  
 $T_{i,h-j\Delta t} \equiv$  temperatura interior hace  $j$  pasos de tiempo  $\Delta t = 1$  hr;  
 $T_{e,h-j\Delta t} \equiv$  temperatura exterior hace  $j$  pasos de tiempo  $\Delta t = 1$  hr;  
 $Z_j, Y_j \equiv$  factores de respuesta en el instante  $j$   
 $n \equiv$  número entero lo suficientemente grande en función de la respuesta del muro.

## MÉTODO DE TRANSICIÓN DE ESTADOS

Para conocer la respuesta de un muro ante una excitación cualquiera debemos conocer el flujo de calor, coincidiendo la integral de este con la energía que pasa a través por medio de la siguiente fórmula:

$$\theta(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cdot e^{-\lambda_k t} + Q \delta(t) \\ Q = \sum_{k=m+1}^{\infty} \frac{A_k}{\lambda_k} (J/m^2 K)$$

Mientras que los estados internos del muro se obtienen mediante el siguiente procedimiento:

1. Se ponen los estados a cero  $W_{k,0}^i = 0 \cdot n = 0$
2. Se establece un paso de tiempo  $T = \Delta t$  que puede ir cambiando " $n=n+1$ "
3. Se calculan los  $\{\varphi_k\}$  para ese paso de tiempo
4. Se calcula la evolución de los  $m$  k-estados interiores con las temperaturas anteriores y las nuevas  $W_{k,n}^i$
5. Se suman los estados y con la ecuación XX se evalúa el flujo de calor interno.
6. Se repite el proceso desde el punto 2.

$$W_{k,n}^i = W_{k,n-1}^i \cdot \varphi_k + \frac{1 - \varphi_k}{\lambda_k + T} [(A_k^i \cdot T_{e,n} - A_k^i \cdot T_{i,n}) - (A_k^e \cdot T_{e,n-1} - A_k^e \cdot T_{i,n-1})]$$

$W_{k,n}^i$  = estado interno de estudio  
 $W_{k,n-1}^i$  = estado interno anterior al del estudio  
 $T = \Delta t$  que puede ir cambiando " $n=n+1$ "  
 $A_k^i$  = área del elemento interior-exterior m<sup>2</sup>  
 $T_{e,n}$  = temperatura exterior, grados Kelvin  
 $A_k^e$  = área interior del elemento m<sup>2</sup>  
 $T_{i,n}$  = temperatura interior del elemento, grados Kelvin  
 $T_{e,n-1}$  = temperatura exterior del estado anterior, grados Kelvin  
 $T_{i,n-1}$  = temperatura interior del estado anterior, grados Kelvin

$$q_{i,n} = A_0 \cdot T_{e,n} + A_0 \cdot T_{i,n} + \sum_{k=1}^m W_{k,n}^i \cdot \frac{Q^e}{T} (T_{e,n} - T_{e,n-1}) + \frac{Q^i}{T} (T_{i,n} - T_{i,n-1})$$

$q_{i,n}$  = transferencia de calor en un estado interno  $n$   
 $A_0$  = área del elemento  
 $T_{e,n}$  = temperatura exterior, grados Kelvin  
 $T_{i,n}$  = temperatura interior del elemento, grados Kelvin  
 $W_{k,n}^i$  = estado interno de estudio  
 $Q^e$  = energía del interior al exterior  
 $T = \Delta t$  que puede ir cambiando " $n=n+1$ "

## FACTOR DE RESPUESTA DE UNA ZONA

Conceptos utilizados en simulación y cálculo de caras térmicas de edificios, por ordenador, cuya finalidad es obtener pares (excitación - muestra) cada cierto tiempo. Intentando obtener fotografías de la evolución del proceso.

### Procesos considerados

1. Conducción hacia la superficie interior que da al volumen.
2. Convección desde las superficies interiores al aire asociado al volumen.
3. Radiación de onda larga OL entre las superficies.
4. Fuentes radiantes que inciden en el interior: solar y luces.

### Para un instante de muestreo

$$(q_{conv,i} + q_{rad,OL} + q_{cond,i} + q_{entrad,i})n = 0$$

$q_{conv,i}(n)$  = energía de convección de un elemento  $i$   
 $q_{rad,OL}(n)$  = energía radiante con longitud de onda larga de un elemento  $i$   
 $q_{cond,i}$  = energía por conducción de un elemento  $i$   
 $q_{entrad,i}$  = energía inicial

Siendo:

$$q_{conv,i}(n) = h_{int}(T_{local}(n) - T_f(n))$$

$q_{conv,i}(n)$  = energía de convección de un elemento  $i$   
 $h_{int}$  = coeficiente equivalente de radiación interna  
 $T_{local}$  = temperatura del local  
 $T_f$  = temperatura del elemento

$$q_{rad,OL}(n) = \sum_{j=1}^N \frac{1}{R_{i,j} \cdot A_j} (T_{local}(n) - T_j(n))$$

$q_{rad,OL}(n)$  = energía radiante con longitud de onda larga de un elemento  $i$   
 $R_{i,j}$  = resistencia al paso de la energía entre las superficies  $i$  y  $j$   
 $A_j$  = superficie del elemento  
 $T_{local}$  = temperatura del local  
 $T_j$  = temperatura del elemento

## PROGRAMAS DE SIMULACIÓN ANALIZADOS

Una vez estudiados los principios físicos en los que se basan los programas de simulación, se analizan tres de los cuales son los más adecuados a la hora de realizar la simulación en este trabajo.

### AUTODESK SIMULATION CDF

Se basa en las funciones de dinámica de fluidos computacionales.

Este ayuda a automatizar el flujo de fluidos y la toma de decisiones de simulaciones térmicas para diseños, eliminando los ciclos de prototipos físicos. Ofreciendo una alternativa rentable y rápida.

Se integra con el software Autodesk Inventor Fusion, lo que permite los técnicos modificar, simplificar la geometría del diseño de manera fácil y sencilla.

Pero se centra, concretamente y solamente, en el flujo del aire, fluidos y refrigeración del sistema eléctrico. No ofreciendo ningún tipo información sobre las diferentes temperaturas, influencia de los elementos vegetales, láminas de agua o radiación.

Ni teniendo en cuenta otros sistemas de transmisión de calor como es la radiación.

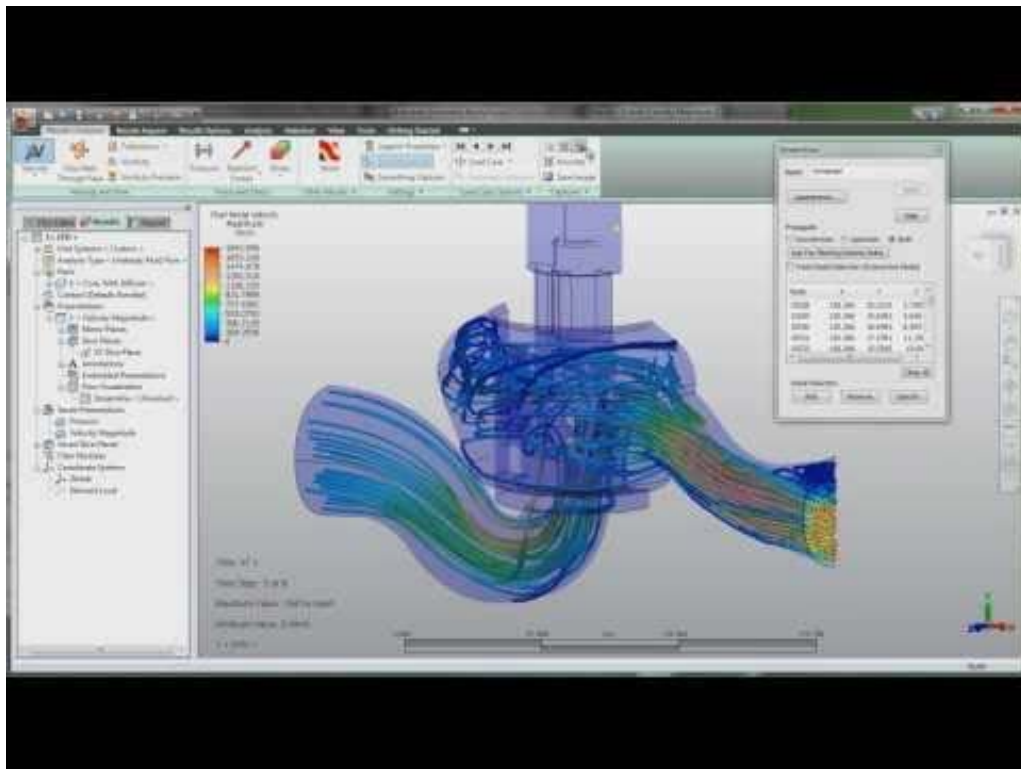


Ilustración 46: imagen del software con el flujo representado en función de la temperatura. Fuente: [www.cadlinecommunity.co.uk](http://www.cadlinecommunity.co.uk)

## DESING BUILDER

Se trata de otro software que gracias a la simulación tres dimensiones ayudan a los profesionales del sector de la construcción a reducir el impacto medioambiental.

Como en la mayoría de los programas, dependiendo del pack o modelo las prestaciones son menores o mayores.

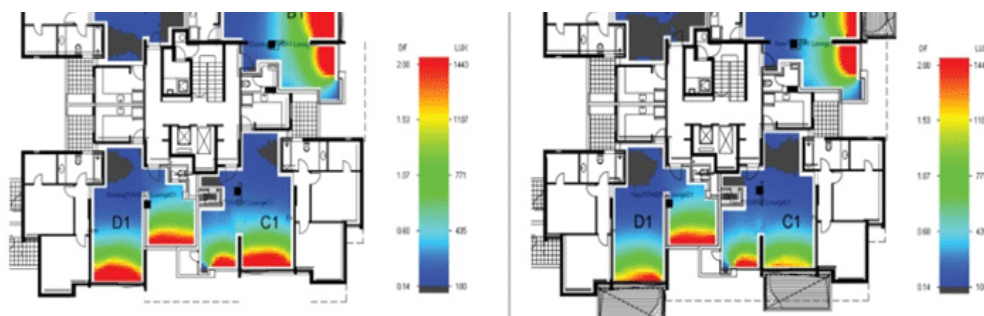


Ilustración 47: simulación de pérdidas energéticas con Desing Builde. Fuente: desingbuilder.com

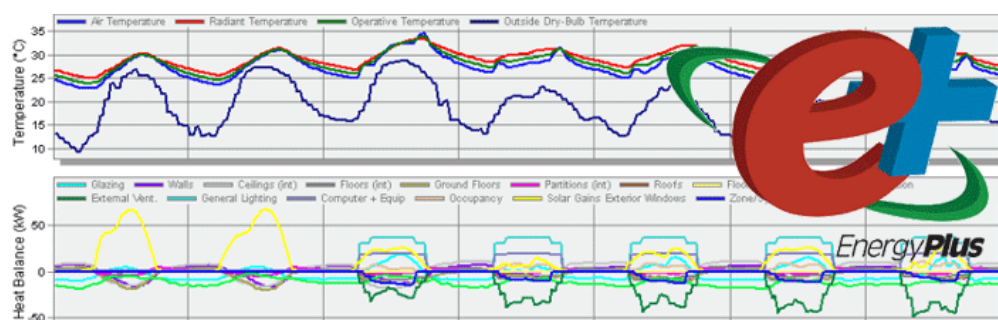


Ilustración 48: gráficos que nos aporta Desing Builder sobre la temperatura y el balance energético. Fuente: desingbuilder.com

En este caso nos encontramos con los siguientes:

	Asesor Energético		Arquitectura		Ingeniería		
	Esencial	Plus	Esencial	Plus	Esencial	Plus	Pro
Modelado 3D	X	X	X	X	X	X	X
Visualización	X	X	X	X	X	X	X
Certificación	X	X					
Simulación		X	X	X	X	X	X
Luz diaria		X	X	X	X	X	X
HVAC					X	X	X
Coste				X	X	X	X
LEED						X	X
Optimización				X		X	X
CFD							X



Podemos resumir sus funciones en:

- Permite comparar diferentes alternativas de diseño.
- Modela edificios de forma fácil
- Permite la importación de datos de BIM y CAD
- Genera imágenes y videos
- Realiza una simulación con EnergyPlus
- Permite la certificación LEED

Como vemos tiene varias posibilidades en función de las necesidades profesionales, y nos proporciona ventajas a la hora de trabajar con herramientas como el BIM, CAD, EnergyPlus.

Se debe destacar también la posibilidad de realizar la certificación LEED ya que ahorraría una gran cantidad de trabajo si es uno de los objetivos del proyecto, no siendo compatible con otro tipo de certificaciones como Verde, Minerguie, o similares.

Sin embargo, carece de la inserción de elementos vegetales, láminas de agua o contaminación que pueda existir en el área.

Se trata de una herramienta compatible con otras que ofrece un amplio abanico de posibilidad a la hora de realizar una simulación y estudiar un área.

## ENVI-MET

Este tipo de software nos permite modelar el clima mediante un diseño tridimensional y se usa generalmente para el estudio de las condiciones urbanas de un conjunto de elementos o bien para el estudio de una edificación individual.

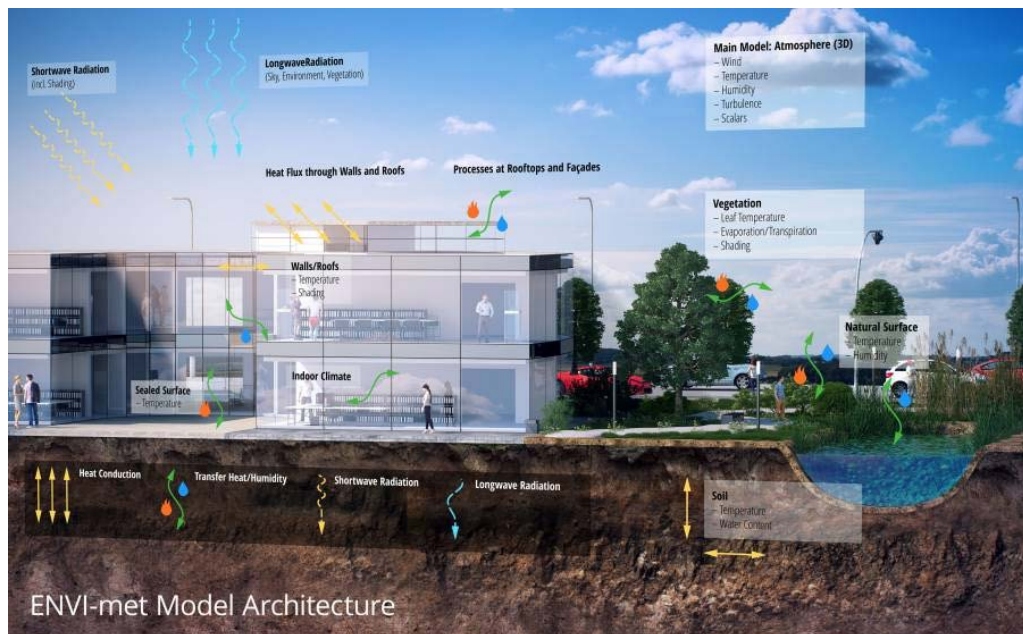


Ilustración 49: imagen resumen de todos los parámetros que puede tener en cuenta ENVI-MET. Fuente: [envimet.com](http://envimet.com)

Los elementos que tiene en cuenta son los siguientes:

1. Radiaciones de onda larga y onda corta en cuanto a la reflexión que provoca otros edificios, la vegetación, ...
2. Humedad relativa del aire
3. Transpiración y evaporación proveniente de la vegetación
4. La temperatura dinámica superficial y la temperatura de cada muro, tejado (se pueden incluir tres tipos de capas de materiales).
5. Elementos con agua: como ríos, lagos, ...
6. Partículas y gases contaminantes, como CO<sub>2</sub>, NO y NO<sub>2</sub>.

Este programa, como los dos anteriores se basan en las funciones de dinámica de fluidos computacionales (CFD), realizando:

Modelado atmosférico

1. Viento: Para ello utiliza las ecuaciones de Reynolds y Navier-Stokes para cada cuadrícula en el espacio y tiempo.
2. Temperatura del aire y humedad específica
3. Turbulencias
4. Radiación
5. Contaminación

Modelado de suelos

1. Temperatura de la superficie y subsuelo
2. Contenido de agua en el suelo
3. Agua que aporta la vegetación
4. Cuerpos con contenido de agua

Modelado de la vegetación

1. Plantas en 3D
2. Temperatura del follaje
3. Proceso de intercambio de energía con el entorno

Modelado de los edificios

1. Modelado de la geometría
2. Determinación de los materiales
3. Representación del modelo termodinámico
4. Determinación de la demanda térmica de los edificios
5. Sistema de vegetación de paredes y techos

Aunque actualmente no es compatible con herramientas como el BIM, CAD... ni nos permite generar una certificación ambiental o energética sobre el elemento de estudio introduce otros factores que son relevantes si queremos buscar una mayor precisión.

## ELECCIÓN DEL SOFTWARE

Para el estudio del barrio de "La Texera", se ha elegido el software ENVI-MET, para llevar a cabo la simulación que permita evaluar en conjunto el barrio e introducir numerosos datos a tener en cuenta y que influyen de manera muy importante en la toma de decisiones y actuaciones que se pretenden llevar a cabo en el barrio durante estos años.

Ya que permite analizar los siguientes elementos que se consideran muy importantes a la hora de extraer conclusiones y mejorar el confort de los usuarios:

1. La temperatura y humedad: condiciones básicas en las que se basa el confort humano.
2. El viento: influye de manera positiva o negativa en las condiciones básicas anteriores.
3. Influencia de los materiales: tanto en las fachadas como viales, terreno, aceras, ... condicionando todos aquellos procesos físicos que dependen directamente de las características del material.
4. Espacios verdes y su relación con el entorno: influyentes en las condiciones y regulación de los ambientes. El barrio cuenta con pequeñas zonas verdes y árboles entre los edificios.
5. Contaminación: ya que como se ha explicado en la Villa de Avilés se encuentra una gran variedad e importantes industrias, dando solamente este software la posibilidad de su simulación.

## EL ÁBACO PSICOMÉTRICO PRINCIPIOS FÍSICOS

La psicometría se entiende como la medición del contenido de humedad en el aire: ciencia que involucra las propiedades termo-dinámicas del aire húmedo y el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y el confort humano. (Ejército, 2017)

La carta psicométrica es un diagrama de doble entrada donde se relacionan los siguientes parámetros (Berg, 2016):

1. Temperatura del bulbo seco (TB)
2. Temperatura del bulbo húmedo (TH)
3. Humedad específica
4. Humedad relativa
5. Temperatura de punto de rocío
6. Entalpía
7. Volumen específico

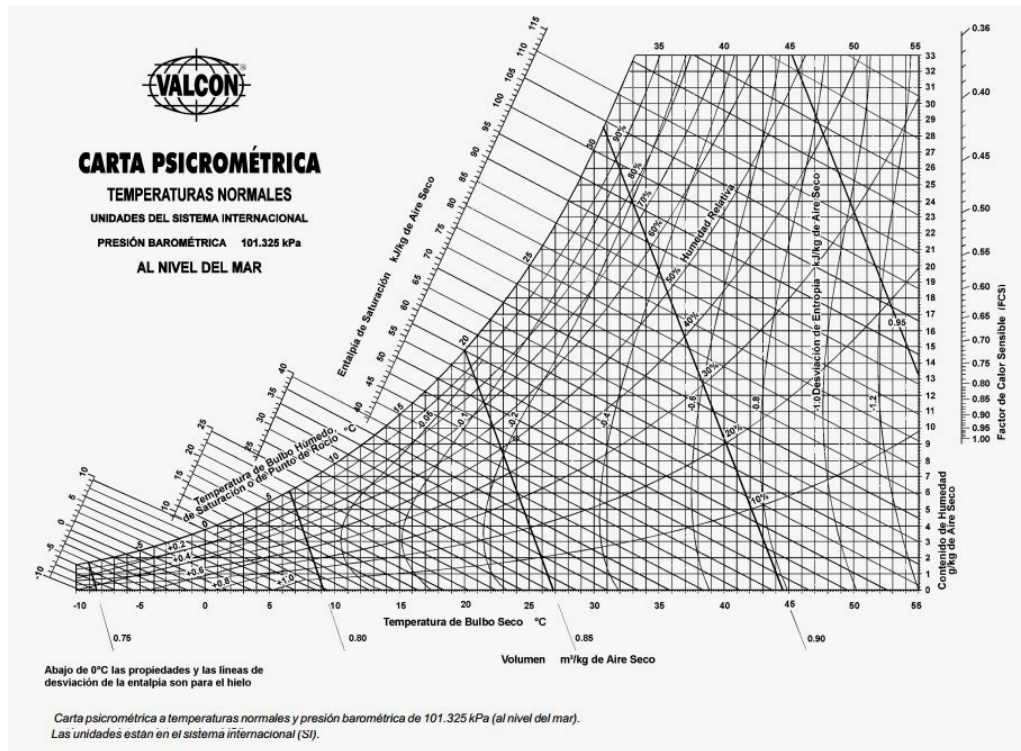


Ilustración 50: carta psicométrica y sus variables. Fuente: Valcon.

En este caso la carta psicométrica se realiza con presión atmosférica a nivel del mar.

Una vez que sabemos que tenemos esta información procedemos a analizar los principios físicos, anteriormente citados:

### TEMPERATURA DEL BULBO SECO

El confort humano y la salud, dependen grandemente de la temperatura del aire, es interés su estudio ya que determina el intercambio de energía entre el individuo y su entorno. (Berg, 2016)

Para el confort humano esta temperatura depende de la actividad física que realice, por lo tanto, existen diferentes rangos de función:

1. 17° y 27°C si se realizan trabajos sedentarios.
2. 14° y 25° C si se realizan trabajos ligeros.

En el acondicionamiento de aire, la temperatura del aire indicada es normalmente la temperatura de «bulbo seco» (TB), tomada con el elemento sensor del termómetro en una condición seca.

Es la temperatura medida por termómetros ordinarios en casa.

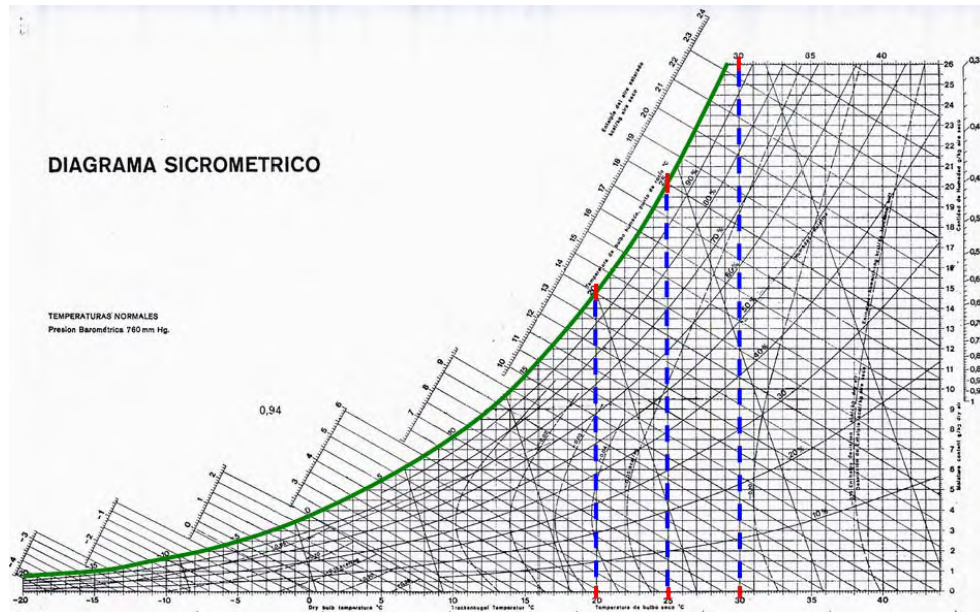


Ilustración 51: representación de:

- 1) Curva de saturación
- 2) línea de temperatura de bulbo seco constante
- 3) escala de temperatura del bulbo seco

Fuente: curso frío-calor, doc. PDF.

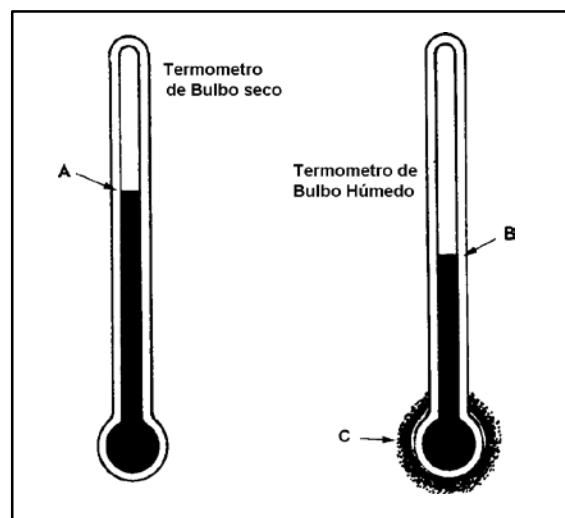


Ilustración 52: Termómetro de bulbo seco y bulbo húmedo. "A" representa la  $T^a$  del bulbo seco "B" la  $T^a$  del húmedo "C" la mecha que envuelve al bulbo húmedo. Fuente: la carta psicrométrica, doc. PDF.



### TEMPERATURA DEL BULBO HÚMEDO

Básicamente, un termómetro de bulbo húmedo no es diferente de un termómetro ordinario, excepto que tiene una pequeña mecha o pedazo de tela alrededor del bulbo.

Si esta mecha se humedece con agua limpia, la evaporación de esta agua disminuirá la lectura (temperatura) del termómetro. Esta temperatura se conoce como de «bulbo húmedo» (TH). Si el aire estuviese saturado con humedad (100% HR), la lectura de la temperatura en el termómetro de bulbo húmedo, sería la misma que la del termómetro de bulbo seco. Sin embargo, la HR normalmente es menor de 100% y el aire está parcialmente seco, por lo que algo de la humedad de la mecha se evapora hacia el aire.

Esta evaporación de la humedad de la mecha, provoca que la mecha y el bulbo del termómetro se enfríen, provocando una temperatura más baja que la del bulbo seco.

Esta variable nos permite relacionar la humedad que existe en el aire y como esta afecta a la temperatura, por lo tanto, a las sensaciones térmicas que pueda tener un individuo. (Ejército, 2017)

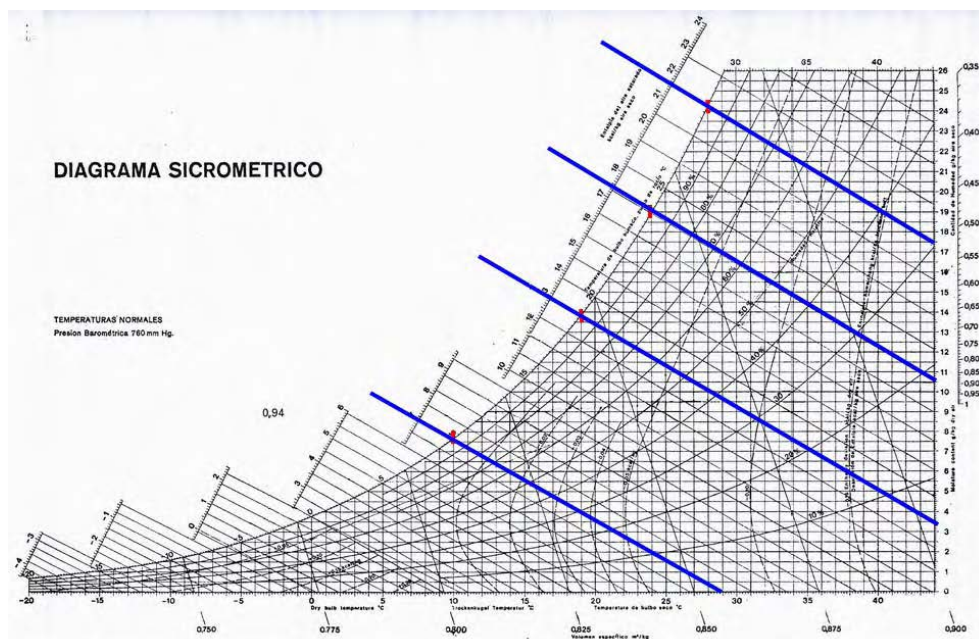


Ilustración 53: representación de:

1) Escala de temperatura del bulbo seco

2) línea de temperatura de bulbo húmedo constante

Fuente: curso frío-calor, doc. PDF.

### HUMEDAD ESPECÍFICA

La humedad específica, o también llamada contenido de humedad, es el peso de vapor de agua en gramos por kilogramo de aire seco.

La humedad específica, se refiere a la cantidad de humedad en peso, que se requiere para saturar un kilogramo de aire seco, a una temperatura de saturación (punto de rocío) determinada.

Desde el punto de vista del confort, su estudio nos ayuda a entender otras variables como la humedad relativa y la temperatura de rocío.

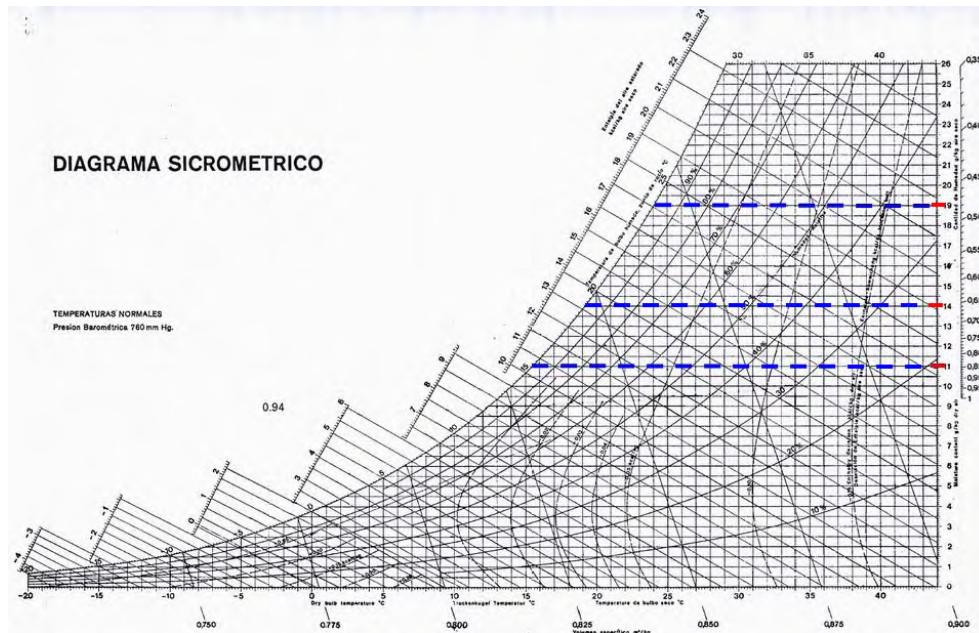


Ilustración 54: representación de:

- 1) Escala de humedad específica
- 2) línea de humedad específica constante

Fuente: curso frío-calor, doc. PDF.

## HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa es la cantidad de humedad que el aire contiene respecto a la cantidad máxima de humedad que el aire puede contener a la misma temperatura.

Desde el punto de vista del confort es la segunda variable con más importancia ya que mediante la transpiración es el mecanismo que tiene un cuerpo humano para eliminar calor y buscar el confort térmico. Cuanto mayor es la humedad relativa en el ambiente menor es la transpiración y las condiciones de confort disminuyen. Un buen ejemplo es la sauna, donde la Hr es muy superior y la realización de actividades cotidianas no resultan confortables. (Berg, 2016)

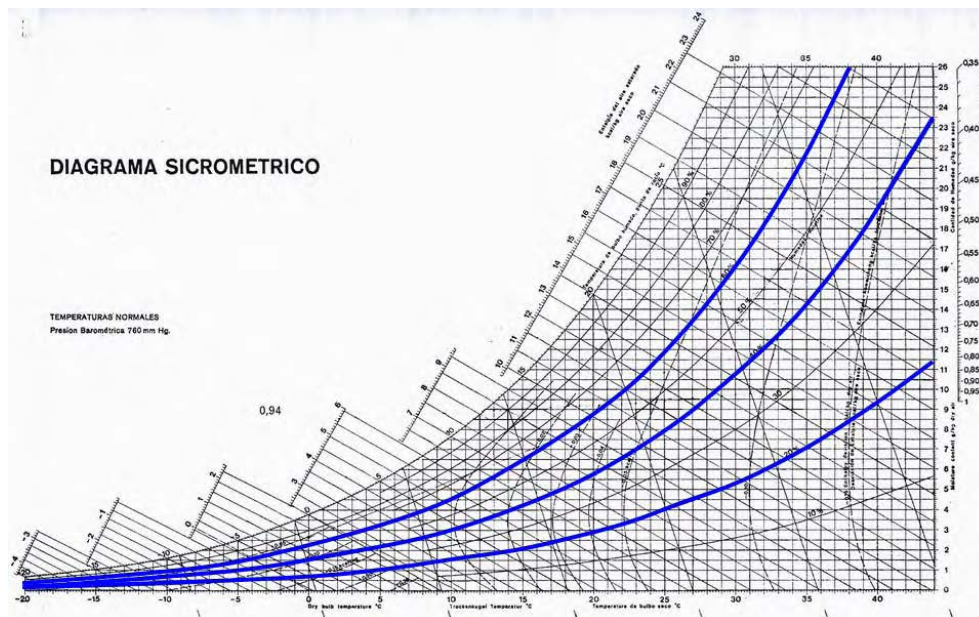


Ilustración 55: representación de:

- 1) línea de humedad relativa

Fuente: curso frío-calor, doc. PDF.



### TEMPERATURA DE PUNTO DE ROCIO:

El punto de rocío se define como: la temperatura debajo de la cual el vapor de agua en el aire, comienza a condensarse.

También es el punto de 100% de humedad. La humedad relativa de una muestra de aire, puede determinarse por su punto de rocío.

Esta variable nos ayuda en el estudio del confort ya que nos da información sobre qué ocurrirá cuando relacionamos una humedad relativa del aire y dos temperaturas que provocan un choque térmico considerable.

HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE %	TEMPERATURA DE BULBO SECO DE LA SUPERFICIE CUANDO SE INICIA LA CONDENSACION	
	TEMP. DEL AIRE DEL CUARTO	
	21°C	27°C
100	21	27
90	19	25
80	18	23
70	15	20
60	13	18
50	10	15
40	7	12
30	3	8

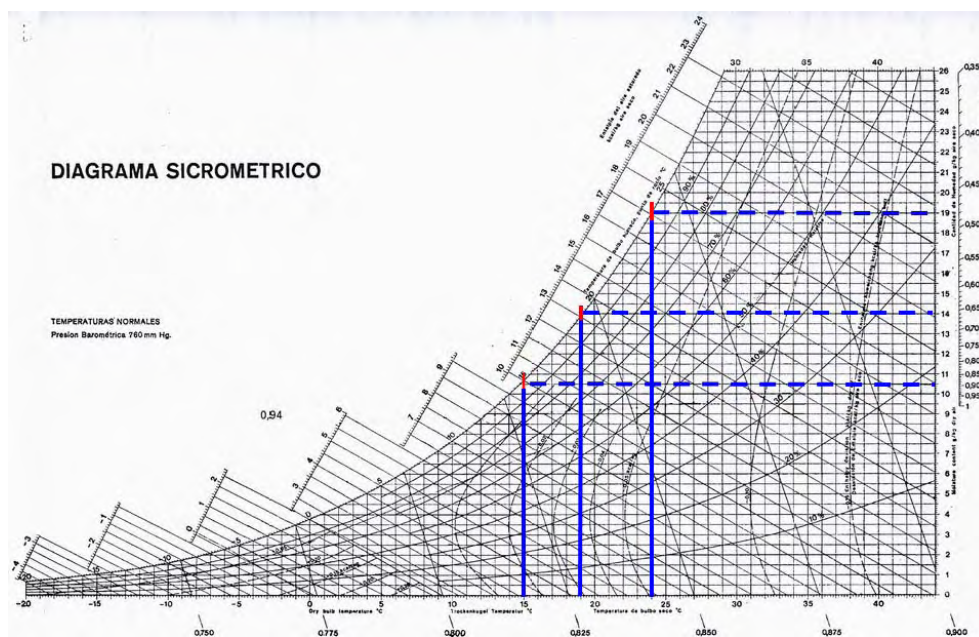


Ilustración 56: representación de:

- 1) temperaturas de punto de rocío.
- 2) temperatura del bulbo seco
- 3) humedad específica

Fuente: curso frío-calor, doc. PDF.

## ENTALPÍA

La entalpía es una magnitud termodinámica, simbolizada con la letra  $h$ , cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno. Dentro de la carta psicrométrica las líneas de entalpía constantes son meramente extensiones de las líneas de bulbo húmedo; puesto que el calor total del aire, depende de la temperatura de bulbo húmedo. La escala del lado izquierdo lejano a la línea curva, da el calor total del aire en kJ/kg de aire seco, en el sistema internacional. Esta escala aumenta de -6 kJ/kg a la temperatura de -10°C de bulbo húmedo, hasta aproximadamente 115 kJ/kg a 33°C de bulbo húmedo.

Si hablamos de confort y como se regula un cuerpo humano a la hora de encontrarlo el estudio de esta variable es importante ya que cualquier elemento al encontrarse a determinada temperatura provoca un intercambio de energía con el medio. Pudiendo realizarse mediante diferentes maneras: conducción, convección y radiación. (Berg, 2016)

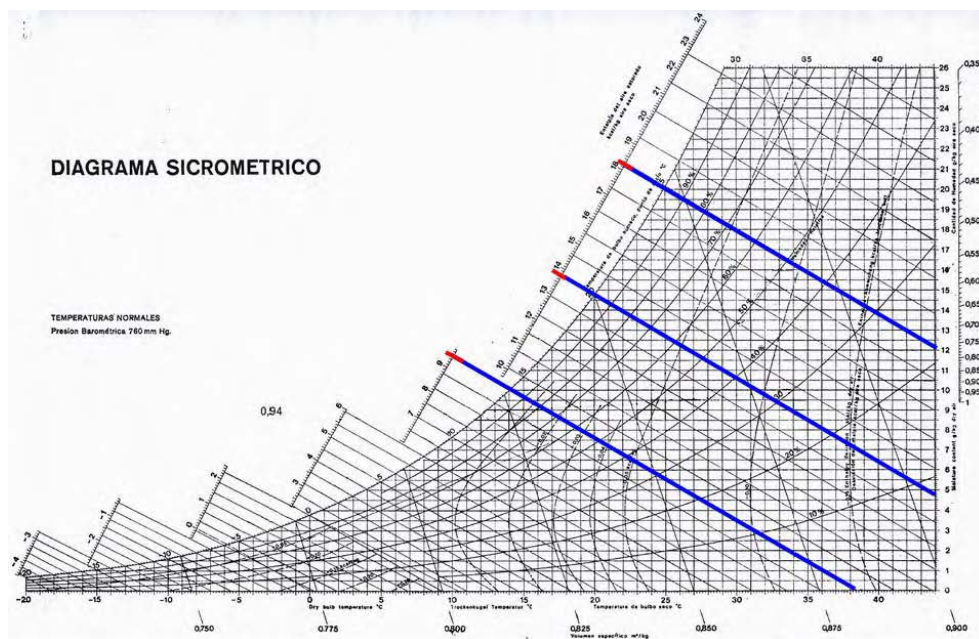


Ilustración 57: representación de:

- 1) línea de temperatura del bulbo húmedo
- 2) entalpía

Fuente: curso frío-calor, doc. PDF.

### VOLUMEN ESPECÍFICO

Representa el volumen ocupado por un kilogramo de aire que se encuentra en unas determinadas condiciones, y se mide en m<sup>3</sup>/kg.

Nos permite conocer la densidad del aire, relacionado directamente con las condiciones de confort.

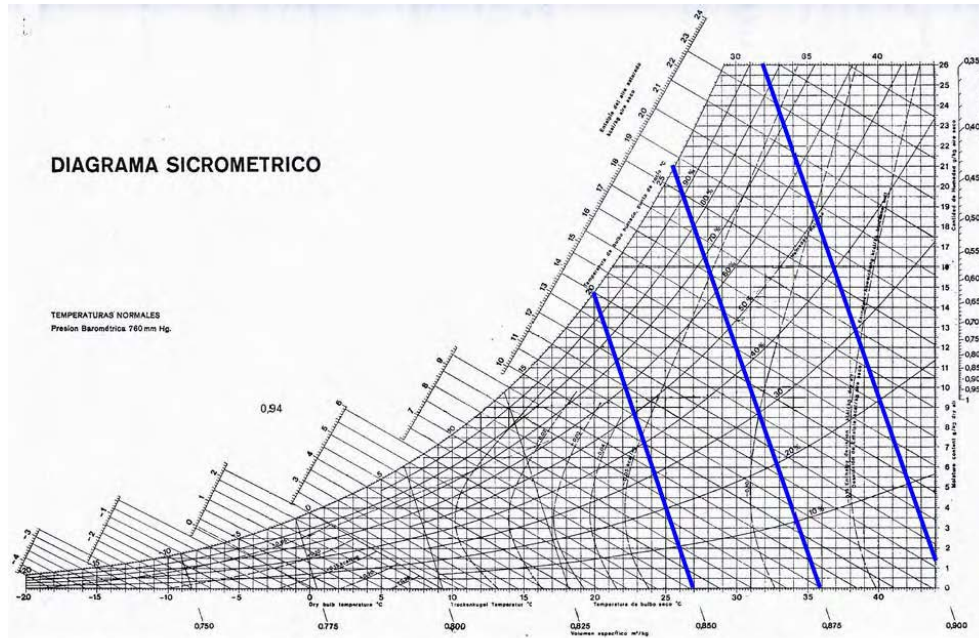


Ilustración 58: representación de:

1) volumen específico

Fuente: curso frío-calor, doc. PDF.

En el centro del ábaco psicrométrico hay un punto señalado que se corresponde con una temperatura de bulbo seco de 24°C y una humedad relativa del 50%. Es un punto estándar de confort térmico.

Como vemos todas las variables tienen mayor o menor importancia a la hora de buscar el confort del individuo y al encontrarse relacionadas su estudio nos permitirá realizar un estudio más detallado y mejorar dichas condiciones dependiendo de las características que tengamos (Berg, 2016).

## UTILIZACIÓN DE LA CARTA PSICOMÉTRICA

La mejor manera de explicar la utilización de la carta psicrométrica es mediante la realización de un ejemplo.

Dada una Temperatura de bulbo seco de 35°C y una humedad relativa de 50%, determine las demás propiedades del aire.

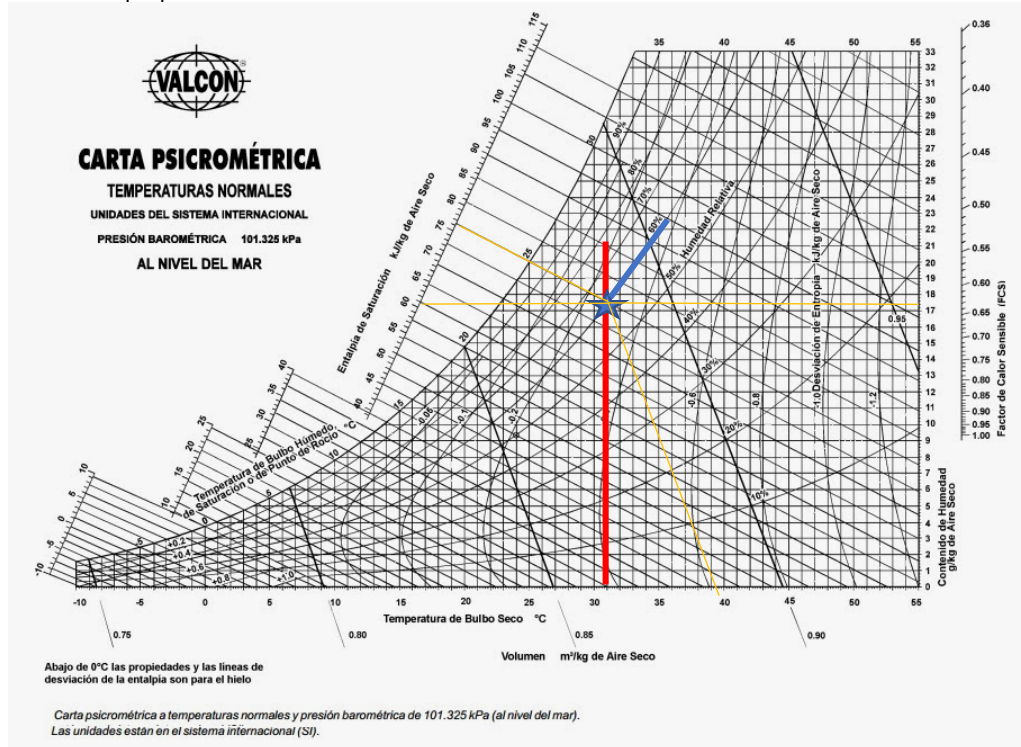


Ilustración 59: representación de la utilización de la carta. Fuente: propia.

Los resultados son:

1. Temperatura del bulbo húmedo: 26,10°C
2. Contenido de humedad: 17,50 g/kg de aire seco
3. Entalpía: 81,00 kJ/kg de aire seco
4. Saturación o Punto de Rocío: 22,90 °C
5. Volumen específico: 0,89 m³/kg de aire seco

## FÓRMULAS DE LA CARTA PSICOMÉTRICA

La lectura del barómetro de mercurio debe convertirse a su equivalente convencional de altitud (altitud geopotencial) mediante el uso de las siguientes ecuaciones: Para altitudes menores a 11 000 m s.n.m. tenemos que (MetAs, 2005):

$$P_B = P_{atm} + (1013.25 - P_s(Z))$$

$$P_B = 1013,25 * (1 - 22,5569 * 10^{-6} * Z)^{5,25611}$$

$P_B$  = presión barométrica hPa

$Z$  = altitud local en m

$P_{atm}$  = presión atmosférica en hPa

La Guía MetAs

"Atmósfera Normalizada" es un estado atmosférico que cumple los siguientes requisitos: A nivel medio del mar (s.n.m.), la presión barométrica es 760 mmHg (29,92 inHg, ó 1 013,2 hPa).

### Temperatura de rocío

El incremento en la presión del gas incrementa el valor de la temperatura de punto de rocío. Una muestra de gas con una temperatura de punto de rocío de 0 °C y una presión de 70 kPa, incrementa su temperatura de punto de rocío a 1,85 °C cuando se incrementa la presión a 80 kPa. (Martínez, 1992)

$$P_v = P_{vs} - 0.66 * 10^3 * P * (T - T_H) * (1 + 1.146 * 10^3 * T_H)$$

$P$  = presión atmosférica en Hpa

$P_{vs}$  = presión de vapor de saturación para  $T$  en Hpa

$T$  y  $T_H$  son la temperatura y la temperatura de bulbo húmedo en °C.

La Guía MetAs

### Humedad relativa

$$H_r = (P_v / P_{vs}) * 100$$

$P_v$  = presión de vapor

$P_{vs}$  = presión de vapor saturado que se obtiene para cada valor de temperatura

Erich A. Müller

Otra manera de obtener la humedad relativa es (2): mediante el vapor de agua a una temperatura "x"°C está saturado, y a "x"°C estaba sobrecalentado.

Ejemplo: la humedad relativa del aire en el cuarto a 21°C, se puede calcular usando los valores de la densidad del vapor de agua saturado (15°C) y la del vapor de agua sobrecalentado (21°C), que en este caso sería 0.01834 kg/m³ (según tablas).

$$HR = 0.01283 \div 0.01834 \times 100 = 69.95\%$$

### Humedad específica

$$W = 0.622 * P_v / (P - 0.378 * P_v)$$

$P_v$  = presión de vapor

(<http://www.tutiempo.net/meteorologia/ecuaciones.html>)



## Entalpía

$$h = (1,007 \cdot TD - 0,026) + W/1000 \cdot (2501 + 1,84 \cdot TD)$$

$h$  = Entalpía (kJ/kg)

$TD$  = Temperatura de bulbo seco (°C)

$W$  = Humedad específica (g/kg)

(Nabeel Z. Al Rahawi, 2008)

## Volumen específico

$$Ve = (287 \cdot (TD + 273)) / ((Pb \cdot 100000) - (Pv \cdot 100000))$$

$TD$  = Temperatura de bulbo seco (°C)

$Pv$  = Presión parcial de vapor (bar)

$Pb$  = Presión barométrica (bar)

(Agricultural Engineers Yearbook, 1981)

## LA CARTA PSICOMÉTRICA Y SUS FÓRMULAS

En este apartado se ve de forma gráfica la relación entre las fórmulas que crean la carta psicrométrica y su forma gráfica.

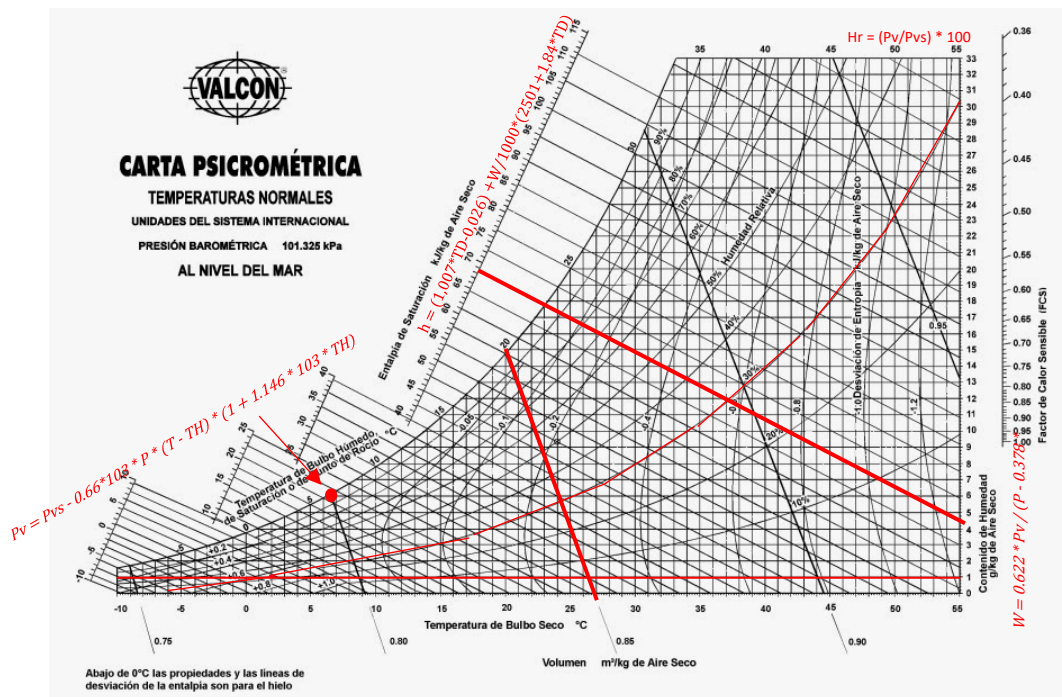


Ilustración 60: Carta psicrométrica complementada con las fórmulas. Fuente: propia.

$$Ve = (287 \cdot (TD + 273)) / ((Pb \cdot 100000) - (Pv \cdot 100000))$$

## CONCLUSIONES

En el ejemplo de la utilización de la carta, se observa, como con solo dos valores: temperatura del bulbo seco y humedad relativa, podemos obtener las demás variables. Esto nos aporta una visión global bastante rápida.

Como se puede deducir, al tratarse de una representación gráfica los valores que nos aporta la carta psicrométrica no son tan precisos como los que se puedan obtener de una fórmula matemática. Alguno de los valores como son la entalpía no son lo suficientemente exactos, pero sí nos ayudan a obtener un valor bastante aproximado sobre el intercambio de calor que se puede bajo ciertos parámetros.

Otro de los "problemas" que tiene es el siguiente: los valores representados vienen en función de la presión barométrica (normalmente suele ser a nivel del mar, 101,325 kPa), por lo tanto y si tenemos una presión diferente deberíamos de escoger otra carta para la presión buscada (si se dispone para dicha presión) o utilizar dicha carta sabiendo que los valores obtenidos difieren de la realidad.

En cuanto a las fórmulas matemáticas debemos de partir de tres parámetros: la presión barométrica (de esta manera analizaremos las demás variables en función de la localización que queremos estudiar) y otras dos: temperatura del bulbo seco y temperatura del bulbo húmedo.

Que conseguimos utilizando la forma analítica y no la gráfica, un estudio más personalizado y efectivo de los parámetros, obteniendo resultados más exactos para la zona que pretendemos estudiar, en este caso la Villa de Avilés y así poder ofrecer soluciones arquitectónicas correctas.



## ARCHIVO BIOCLIMÁTICO

Un EPW se trata de un archivo bioclimático que contiene información meteorológica sobre diferentes parámetros como son: temperatura del bulbo seco, temperatura del bulbo húmedo, humedad relativa, irradiancia, etc.

Estos datos climatológicos de referencia son utilizados actualmente para la justificación de los Documentos Básicos HE0 y HE1 y para la obtención de los certificados energéticos de edificios por el programa HULC (Unión del LIDER+CALENER).

Pues bien, se trata de unos datos meteorológicos horarios que se han generado de manera sintética representando cada una de las zonas climáticas definidas en el CTE. Diferenciándose 12 zonas peninsulares, de las cuales A, B, C, D y E corresponde a la severidad climática de invierno, mientras que 1,2,3,y 4 a las de verano.

Dando lugar a las siguientes zonas: A3, A4, B3, B4, C1, C2, C3, C4, D1, D2, D3 Y E1.

La problemática que nos encontramos al analizar estos datos y trabajar en un programa como puede ser Energyplus son los siguientes:

1. Los valores de latitud, longitud y altitud son iguales para todas las zonas climáticas.
2. Los datos de velocidad y dirección del viento son idénticos para todas las zonas climáticas.
3. Los ficheros climáticos que comparten la misma severidad climática en invierno tienen un idéntico promedio de temperatura y radiación en invierno (octubre –mayo) y mismo perfil medio diario (la curva hora a hora promediada para todos los días del mes).
4. En el caso de tener el mismo tipo de severidad climática en verano, tendrán el mismo promedio de temperatura y radiación en verano (junio – septiembre) y el mismo perfil medio diario.

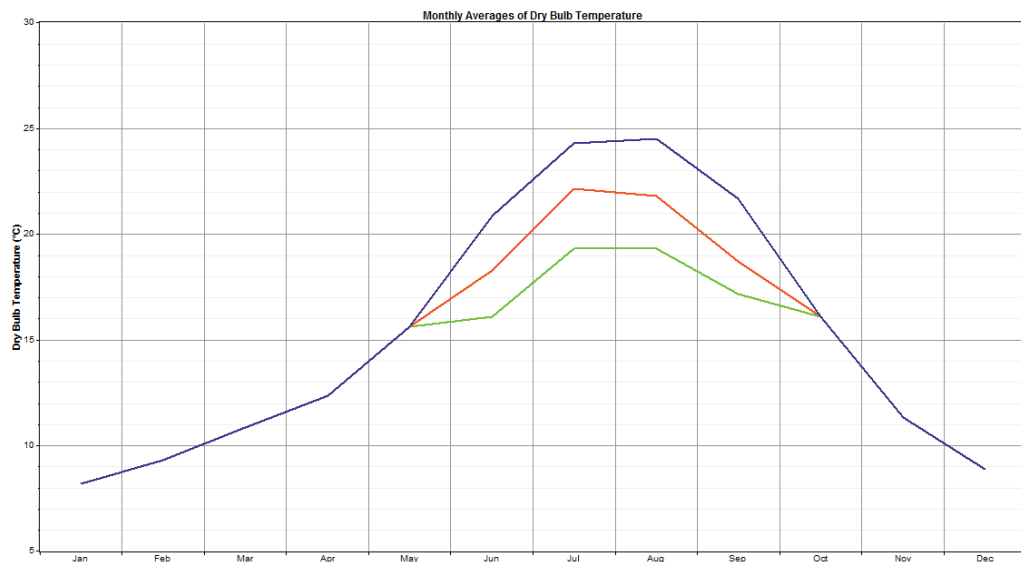


Ilustración 61: Temperatura promedio mensual en zonas C1, C2 y C3. . Fuente: ecoeficiente.es

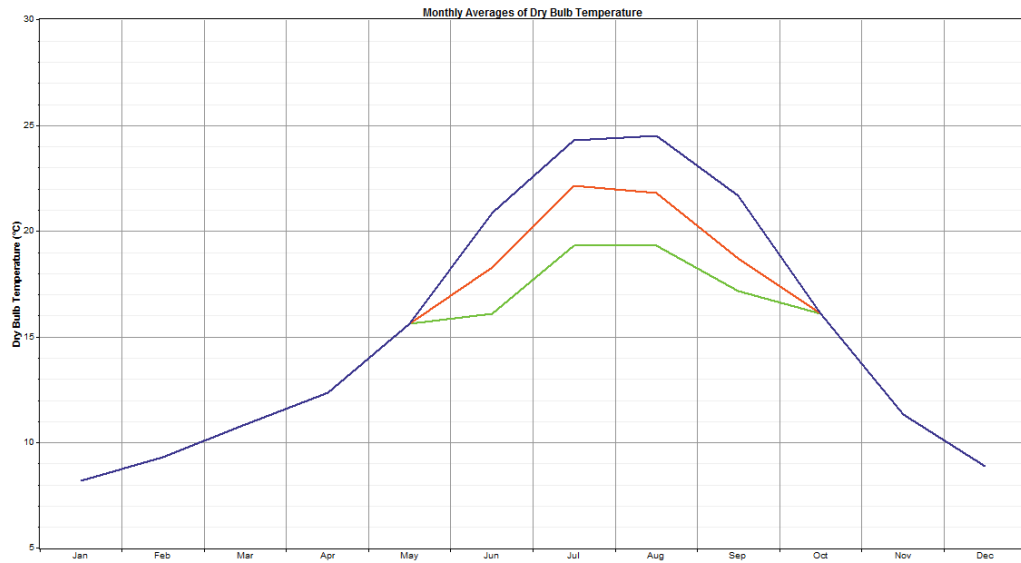


Ilustración 62: Radiación Global Horizontal mensual en zonas B3, C3 y D3. Fuente: *ecoficiente.es*

Por lo tanto, las conclusiones que podemos extraer son las siguientes:

1. La demanda de calefacción en ciudades con el mismo tipo de severidad será prácticamente igual.
2. La demanda de refrigeración con el mismo tipo de severidad de verano será prácticamente igual por ejemplo en Madrid, León, Granda o Cádiz.

Estos archivos nos sirven para el cumplimiento de la normativa, pero nunca a la hora de crear nuestras estrategias de eficiencia.

La mejor opción será la de modificar el archivo climático en formato .epw de un clima cercano al de nuestro proyecto con el fin de conseguir un archivo climático más cercano a la realidad y a partir de este analizar los resultados para establecer unas estrategias más afines.

## MODIFICAR UN ARCHIVO CLIMÁTICO EPW

Para poder ajustar el un archivo climático al proyecto se seguirán los siguientes pasos:

1. Escoger un archivo EPW del lugar de estudio. En este caso no se encuentra ningún archivo de la ciudad de Avilés, por lo que se opta por escoger el de Bilbao, ya que se trata de una ciudad con similares características a la de estudio (se encuentra en el Norte de España, ambas poseen una ría, se trata de ciudades con gran desarrollo industrial, y el clima es muy similar en ambas).

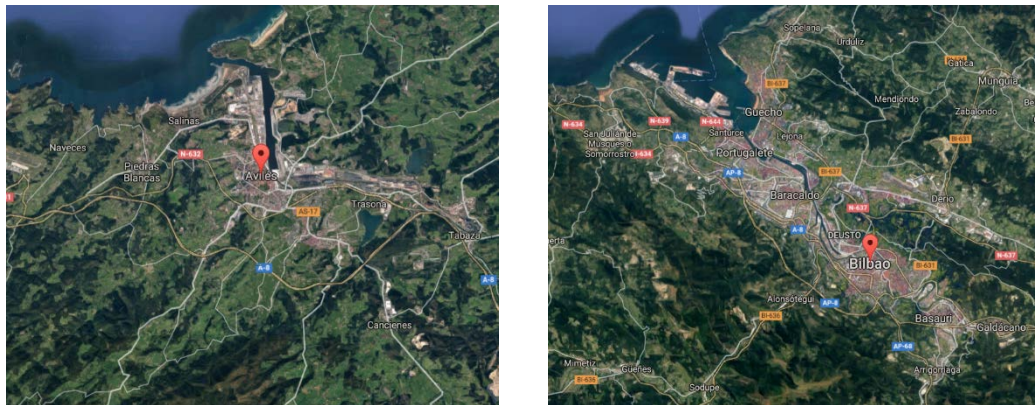


Ilustración 63: a la izquierda se sitúa Avilés, mientras que a la derecha Bilbao. Similares ciudades tanto en desarrollo como en el clima. Fuente: google maps

2. Con la ayuda del programa Elements modificamos los datos principales del archivo, es decir el nombre, latitud, longitud y la distancia con respecto al mar.  
En cuanto a los datos meteorológicos, se consideran como válidos los de la ciudad de Bilbao por las razones anteriormente expuestas.

Autodesk - Elements

File Edit Tools View Window Help

Site Name: Avilés

Latitude (degrees): 43.35 Longitude (degrees): -5.85

Time Zone: 1 Elevation (m): 127

Tools: Offset Scale Normalized Normalized By Month

Variables to Hold Constant:

Date/Time	Dry Bulb Temperature [C]	Wet Bulb Temperature [C]	Atmospheric Pressure [kPa]	Relative Humidity %	Dew Point Temperature [C]	Global Solar [W/m <sup>2</sup> ]	Normal Solar [W/m <sup>2</sup> ]	Diffuse Solar [W/m <sup>2</sup> ]	Wind Speed [m/s]
1986/01/01 @ 00:00:00	8.3	7.02	100.92	84	5.78	0	0	0	0.4
1986/01/01 @ 01:00:00	8.3	7.02	100.92	84	5.78	0	0	0	0.2
1986/01/01 @ 02:00:00	7.8	6.78	100.92	87	5.70	0	0	0	0.1
1986/01/01 @ 03:00:00	7.8	6.78	100.92	87	5.70	0	0	0	0.4
1986/01/01 @ 04:00:00	7.8	6.78	100.92	87	5.70	0	0	0	0.3
1986/01/01 @ 05:00:00	7.2	6.44	100.92	90	5.68	0	0	0	0.4
1986/01/01 @ 06:00:00	6.7	6.33	100.92	95	5.98	0	0	0	0.5
1986/01/01 @ 07:00:00	6.1	6.1	100.92	100	6.12	0	0	0	0.3
1986/01/01 @ 08:00:00	6.1	6.1	100.92	100	6.12	6	0	6	0.3
1986/01/01 @ 09:00:00	6.7	6.55	100.92	98	6.43	56	0	56	0.2
1986/01/01 @ 10:00:00	7.2	7.05	100.92	98	6.93	119.41	164	85	0.4
1986/01/01 @ 11:00:00	8.9	8.09	100.92	90	7.38	232.78	429	98	0.2
1986/01/01 @ 12:00:00	10	8.64	100.92	84	7.45	321.82	583	101	0.1
1986/01/01 @ 13:00:00	11.1	9.23	100.92	79	7.63	315.71	435	143	0.2
1986/01/01 @ 14:00:00	12.2	9.78	100.92	74	7.74	235.51	223	156	0.4
1986/01/01 @ 15:00:00	12.2	9.78	100.92	74	7.74	205.02	242	132	0.2
1986/01/01 @ 16:00:00	11.7	9.6	100.92	77	7.83	159.35	350	90	0.3
1986/01/01 @ 17:00:00	11.1	9.32	100.92	80	7.81	0	0	0	0.3
1986/01/01 @ 18:00:00	10.5	9.03	100.92	82	7.69	0	0	0	1.7
1986/01/01 @ 19:00:00	9.4	8.41	100.92	88	7.54	0	0	0	3.7
1986/01/01 @ 20:00:00	8.9	8.09	100.92	90	7.38	0	0	0	2.1

Ilustración 64: archivo abierto en Elements para su modificación. Fuente autor.

3. Una vez obtenido un EPW adecuado que nos permite analizar el confort en el interior de las edificaciones, lo analizamos con el fin de detectar algún error o dato incompleto que se pueda corregir.

En este caso, observamos que la velocidad y dirección del viento no varía en el tiempo y su gráfica en 3D es la siguiente:

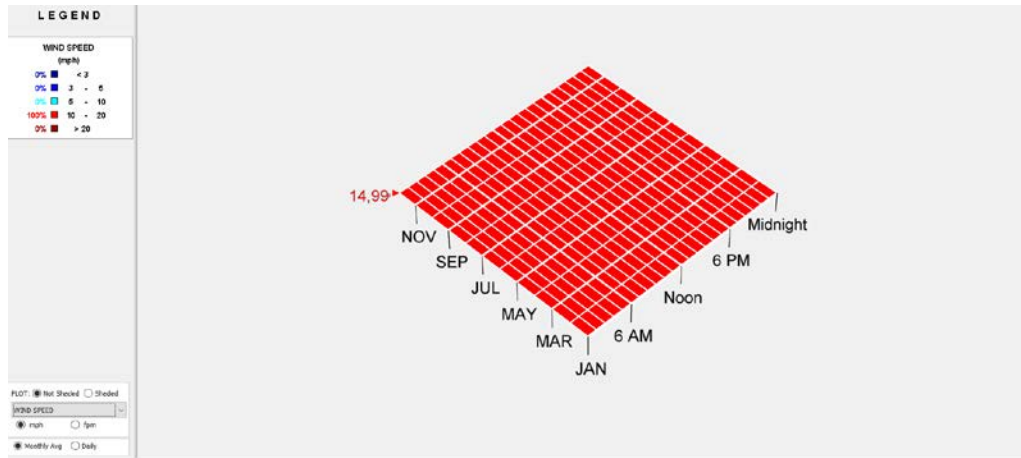


Ilustración 65: gráfico del archivo .epw abierto con el programa Climate Consultant. Fuente: autor.

4. Para solucionar lo anterior se edita el archivo EPW se utiliza la aplicación epWind.pdf que nos permite escoger diferentes estaciones meteorológicas que tienen datos sobre el viento y edita directamente el archivo EPW elegido devolviendo uno editado con los nuevos datos acerca del viento.

Se puede escoger la opción de Ranón – Aeropuerto de Asturias que se encuentra muy cercano a la ciudad de estudio (a menos de 16 km).

**aurea** **DesignBuilder**  
consulting DISTRIBUIDOR OFICIAL EN ESPAÑA

Consultoría DesignBuilder Testimonios Formación Utilidades Blog Q

### epWind: datos de viento en España para simulación

Esta aplicación web le permite incluir **datos de viento** en un fichero meteorológico con formato **epw**.

La velocidad y dirección de viento para cada estación se han generado mediante un *proceso estocástico a partir de cadenas de Markov y autorregresión*. El objetivo ha sido que las series generadas coincidan con los promedios mensuales de la publicación de **AEMET "Rosas del viento (1971-2000)"**. Puede consultar más detalles acerca de los fundamentos técnicos de la aplicación en: [epWind.pdf](#).

**Pasos:**

1. Seleccione el fichero climático epw de su disco duro.
2. Elija la **estación** climática y el **año** del que se recogerán las series de viento.
3. Pulse **Subir**, para procesar su fichero y descargar la versión con las series de viento incorporadas.

Fichero epw:  Ningún archivo seleccionado

Estación:  Año:

Ilustración 66: aplicación web que permite modificar el .epw cambiando los datos respecto del viento. Fuente: <http://arquitecturapasiva.paisaxescompletadas.com>

Ahora si observamos en el programa Climate Consultant 6.0. el gráfico 3D correspondiente al viento obtenemos lo siguiente:

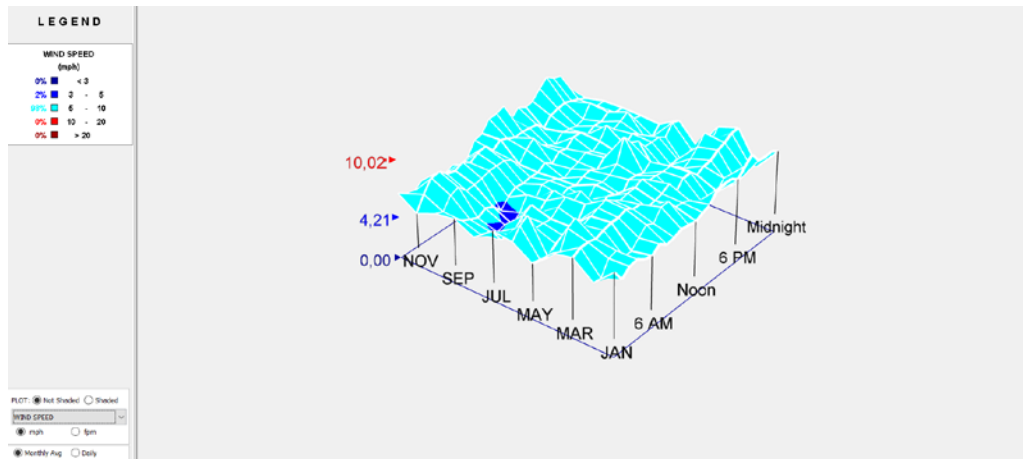


Ilustración 67: archivo .epw una vez se han modificados los datos relativos al viento. Fuente propia.

5. Llegado a este punto, ya podemos empezar a analizar el ábaco psicrométrico para entender las condiciones de confort dentro de las viviendas a lo largo de un año.

## ANÁLISIS DEL ARCHIVO EPW

Obteniendo el siguiente gráfico que analizaremos en detalle con el fin de estudiar que ocurre determinar y escoger aquellas medidas pasivas que si ofrezcan a los usuarios las mayores ventajas

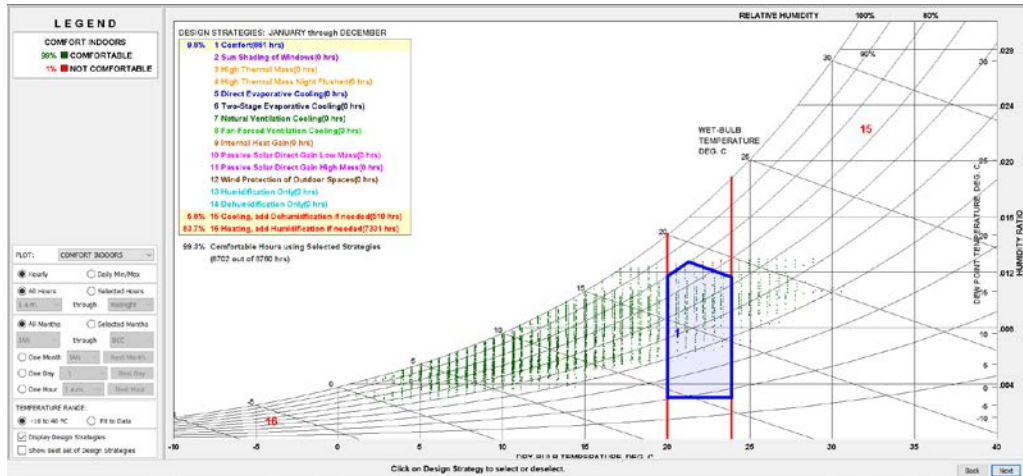


Ilustración 68: abaco psicométrico que nos permite evaluar las condiciones de confort dentro de las viviendas.  
 Fuente: autor.

Este gráfico nos aporta los siguientes datos:

1. Solamente durante el 9.8% dentro del edificio hay una situación de confort sin necesidad de utilizar ningún tipo de estrategia o medio.
2. En cuanto a la necesidad de refrigeración, solamente se necesitará durante 5.8% de los días del año por lo que no se trata de una situación cotidiana, no siendose una problemática en el caso de estudio (como ya se intuía en el estudio general del barrio en su conjunto).
3. Mientras que en cuanto a la necesidad de calefacción se estima un 83,7% si se quiere mantener un estado de confort en el interior. Una gran demanda de energía que se puede reducir escogiendo aquellas medidas que más ventajas nos aporten con la edificación de estudio.

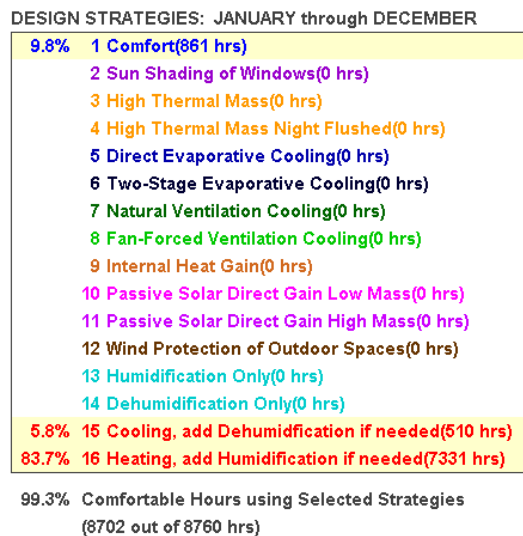


Ilustración 69: resultados porcentuales sobre las estrategias para lograr el confort de los usuarios. Fuente propia.

Se escogen las actuaciones que resulten ser fácilmente aplicables y aporten un beneficio considerable, una vez aplicadas podemos decir lo siguiente:

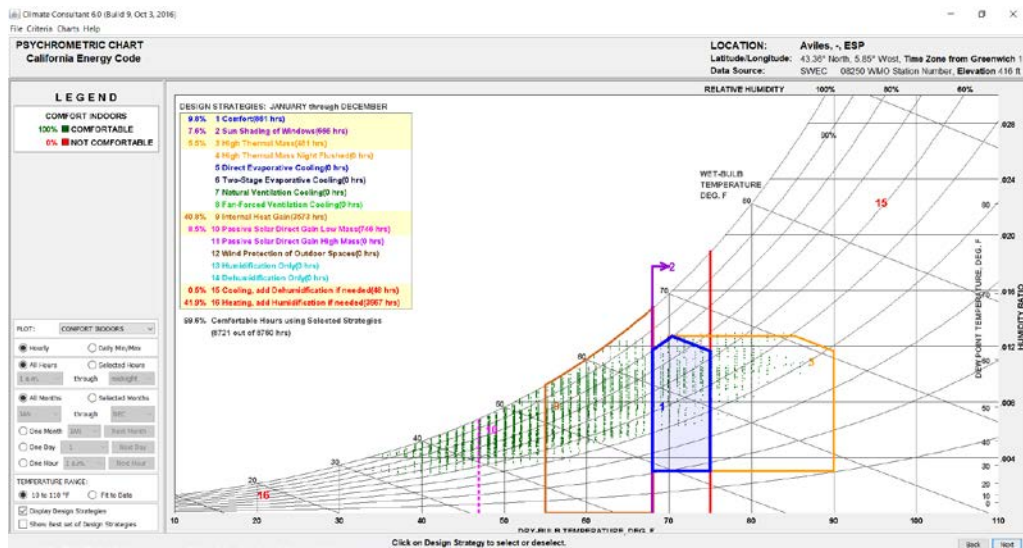


Ilustración 70: resultados del ábaco una vez se han ido añadiendo aquellas estrategias que ayudan a mantener el confort. Fuente: propia.

DESIGN STRATEGIES: JANUARY through DECEMBER	
9.8%	1 Comfort(861 hrs)
7.6%	2 Sun Shading of Windows(666 hrs)
5.5%	3 High Thermal Mass(481 hrs)
	4 High Thermal Mass Night Flushed(0 hrs)
	5 Direct Evaporative Cooling(0 hrs)
	6 Two-Stage Evaporative Cooling(0 hrs)
	7 Natural Ventilation Cooling(0 hrs)
	8 Fan-Forced Ventilation Cooling(0 hrs)
40.8%	9 Internal Heat Gain(3573 hrs)
8.5%	10 Passive Solar Direct Gain Low Mass(746 hrs)
	11 Passive Solar Direct Gain High Mass(0 hrs)
	12 Wind Protection of Outdoor Spaces(0 hrs)
	13 Humidification Only(0 hrs)
	14 Dehumidification Only(0 hrs)
0.5%	15 Cooling, add Dehumidification if needed(48 hrs)
41.9%	16 Heating, add Humidification if needed(3667 hrs)
99.6% Comfortable Hours using Selected Strategies (8721 out of 8760 hrs)	

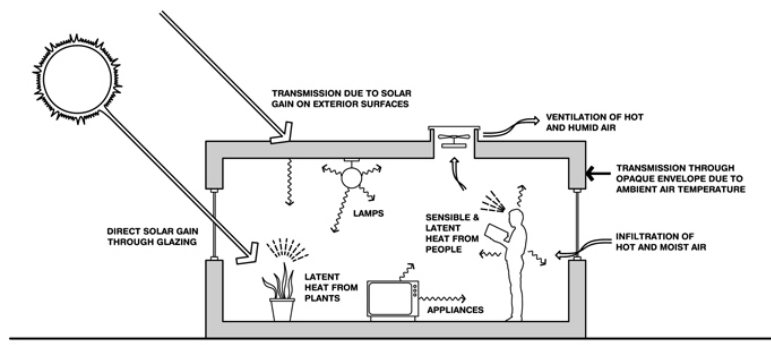
Ilustración 71: cuadro de estrategias y su porcentaje de aportación. Fuente: autor.



## CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS

De este ábaco obtenemos las siguientes conclusiones:

1. Gracias a la ventilación natural y la alta masa térmica podemos reducir la demanda de refrigeración en un 0.1 %, por lo tanto, no conseguiríamos el confort de los usuarios aprovechando dos elementos que actualmente poseen estos bloques de viviendas. Por un lado, las viviendas tienen la posibilidad de realizar una ventilación natural cruzada, y los muros exteriores son de mampostería (los correspondiente a las medianerías, ciegos sin huecos) y las fachadas principales en fábrica de ladrillo.
2. La última conclusión es la siguiente:  
Una gran ganancia se produce mediante las ganancias internas, 40,8% que se obtienen mediante:



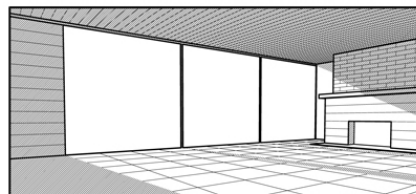
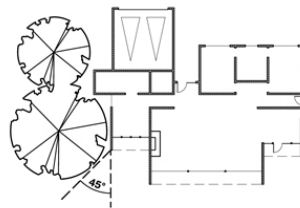
11

**Heat gain from lights, people, and equipment greatly reduces heating needs so keep home tight, well insulated (to lower Balance Point)**

*Ilustración 72: representación de las ganancias internas. Fuente: programa Climate Consultant.*

La entrada de sol a través de las ventanas, que permitan:

1. Acumulación de calor de los paramentos interiores.
2. Mayor iluminación natural.
3. Orientación de los huecos hacia el sur.

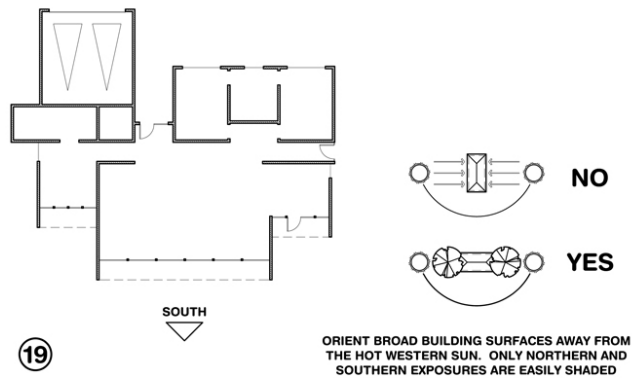


31

**Organize floorplan so winter sun penetrates into daytime use spaces with specific functions that coincide with solar orientation**

*Ilustración 73: organización de las superficies en función de las ganancias que se puedan conseguir en invierno. Fuente: Climate Consultant.*

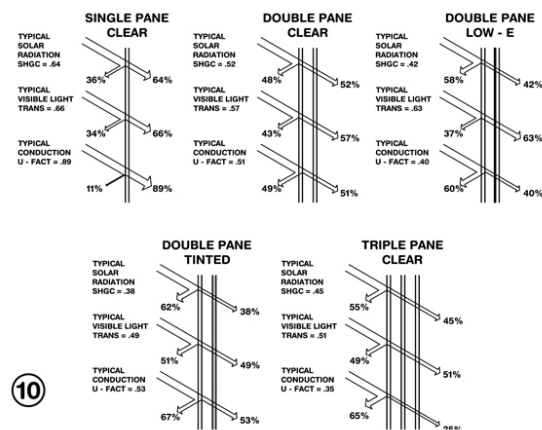




**For passive solar heating face most of the glass area south to maximize winter sun exposure, but design overhangs to fully shade in**

Ilustración 74: orientación al sur para garantizar una "calefacción solar". Fuente: Climate Consultant.

Minimizar las pérdidas a través de las carpinterías, así como la protección del sol mediante la utilización de diferentes tipos de vidrios.



**Glazing should minimize conductive loss and gain (minimize U-factor) because undesired solar radiation gain has less impact in this climate**

Ilustración 75: diferentes tipos de cristales y su repercusión en ganancias y pérdidas. Fuente: Climate Consultant.

Y por último la utilización de protecciones para evitar la entrada de radiación en exceso, así como la utilización de vegetación autóctona de hoja caduca que permita la entrada en invierno y no en verano.

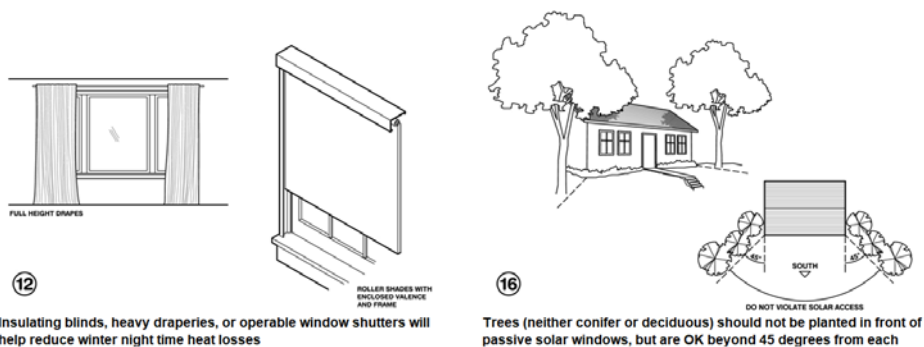


Ilustración 76: diferentes estrategias para protegerse del sol cuando existe un exceso de radiación indeseada. Fuente: Climate Consultant.

## SIMULACIONES CON ENVI-MET

### PASOS A SEGUIR PARA TRABAJAR CON ENVI-MET

Después de estudiar los posibles softwares que nos apuntan información sobre los parámetros atmosféricos, sobre vegetación, etc. Procedemos a analizar y explicar los pasos llevados a cabo para realizar la simulación y extraer los datos necesarios con el fin de poder dar soluciones que mejoren el barrio de estudio.

El primer paso que realizamos para poder utilizar el programa es obtener una imagen en formato .bmp donde de manera simplificada se defina todo aquello que queremos modelizar.



Ilustración 77: Barrio de la Texera simplificado en formato .bmp Fuente: propia

Como se puede ver en la imagen se indica la dirección del norte y una escala gráfica para que todo se realice la manera más precisa posible.

A continuación, procedemos a describir los pasos llevados a cabo en ENVI-MET Spaces:

#### 1. Entrada de información geográfica

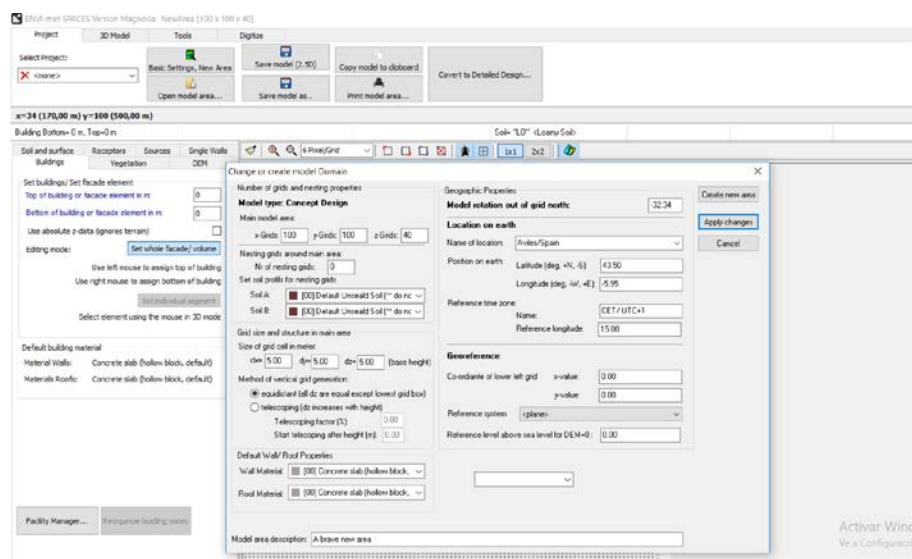


Ilustración 78: delimitación de la localización. Fuente: propia.

## 2. Escalado de la imagen:

En esta fase escalamos la imagen a una determinada escala que se ha elegido previamente. Para que sea más fácil de visualizar y preciso es recomendable realizar una escala gráfica en el dibujo. También se ha de centrar el dibujo con el fin de no cometer errores en el proceso de simulación.

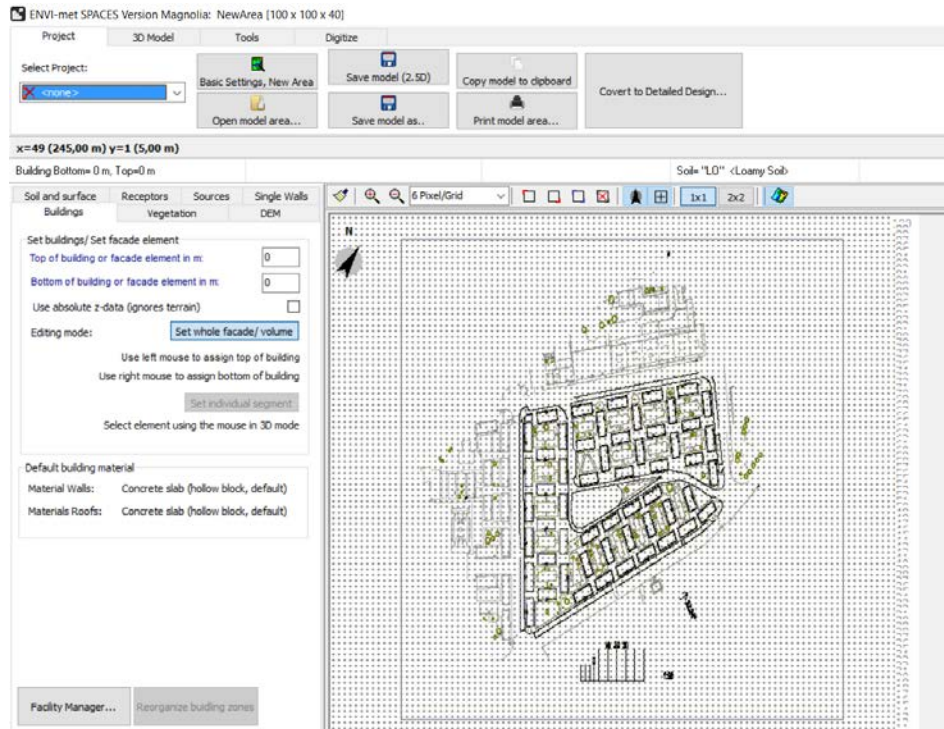


Ilustración 79: imagen escalada y centrada. Fuente propia.

Se comprueba que la orientación introducida en el programa es igual a la marcada en el mapa.

## 3. Procedemos a modelizar los inmuebles.

Para ello debemos introducir la altura que tienen e ir pinchando en la cuadrícula para dar la forma deseada.



Ilustración 80: modelización de los edificios. Fuente propia.



Claramente se aprecia como aquellos edificios que se encuentran perpendiculares o paralelos a la cuadrícula definida por el programa se dibujan con facilidad, mientras que aquellos que tienen un ángulo diferente se ven distorsionados en cuanto a la realidad.

#### 4. Delimitación del suelo.

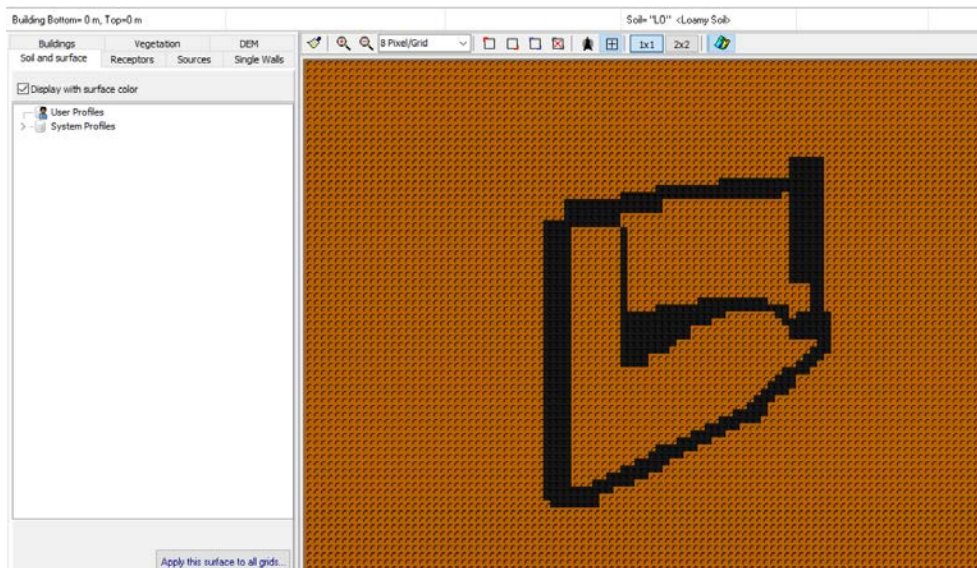


Ilustración 81: delimitación de las zonas destinadas a tráfico rodado. Fuente propia.

#### 5. Incorporación de elementos vegetales.

En el área que estudiamos está provista de zonas verdes y árboles. El Programa nos deja definirlos según una biblioteca que tiene incorporada.

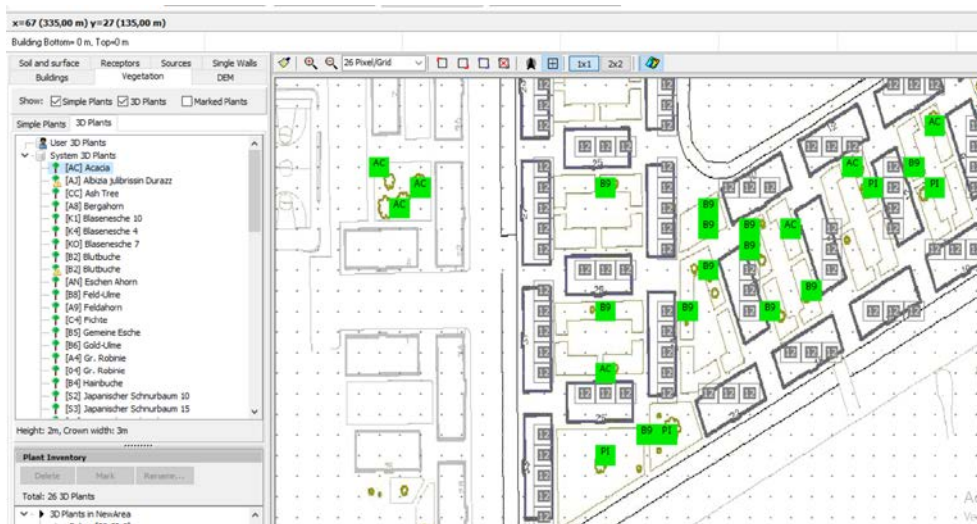


Ilustración 82: colocación de vegetación. Fuente propia.

La parte que podemos destacar como deficiente del programa es que no incluye todo tipo de árboles y estos se encuentran escritos en alemán lo que dificulta su identificación.

Tampoco cuenta con ninguna imagen del árbol, ni se puede colocar césped o pequeñas plantas.

## 6. Modelo 3D

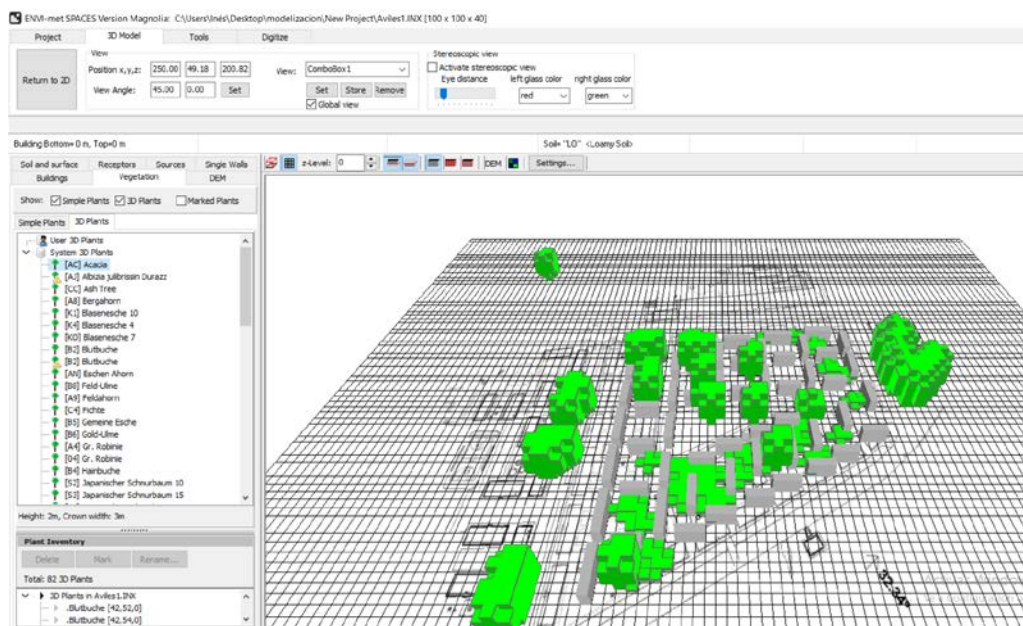


Ilustración 83: barrio modelizado con la vegetación. Fuente propia.

Una vez obtenemos el 3D podemos verificar si los edificios se han levantado según nuestras indicaciones, así como los árboles cogidos. Se pueden modificar todos aquellos errores que vemos volviendo al modelo en 2D.

## 7. Determinar el material del que se encuentran formados los muros.

El siguiente paso lógico sería determinar qué tipo de material se encuentra formadas las envolventes de los edificios.

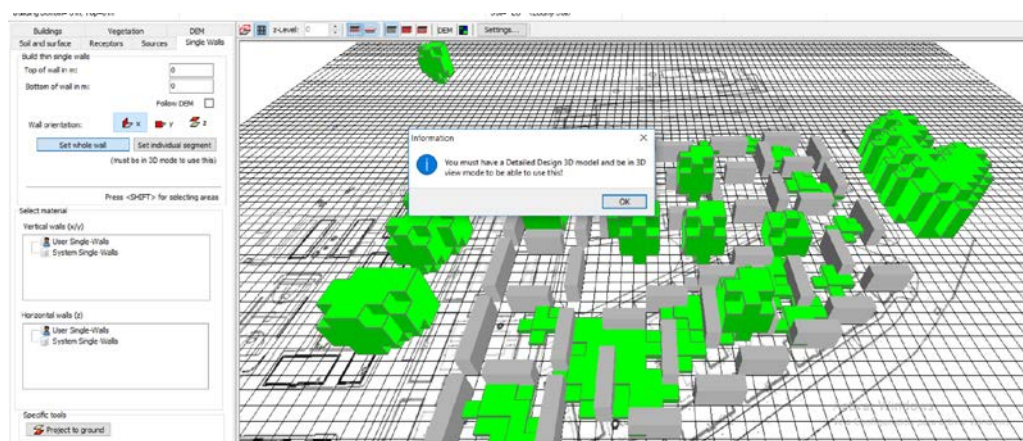


Ilustración 84: imagen de error. Fuente propia.

Como se puede apreciar obtenemos el primer mensaje de error, que posteriormente también aparecerá independientemente del tamaño de la modelización.

Según dice no se pueden determinar los materiales ya que no se ha detallado el 3D y no nos encontramos en la visión en 3D. En el tutorial que he seguido para proceder a realizar la modelización no se indica ningún otro tipo de paso que pudiese haberse saltado y realiza sin

problemas la determinación. Por lo que es una opción que la versión gratuita del programa no posee.

No existen elementos con agua. Por lo que la modelización ya estaría finalizada. A partir de aquí procedemos a la incorporación de los datos sobre el clima mediante la herramienta ConfigWizard.

1. Seleccionamos el fichero .INX creado.

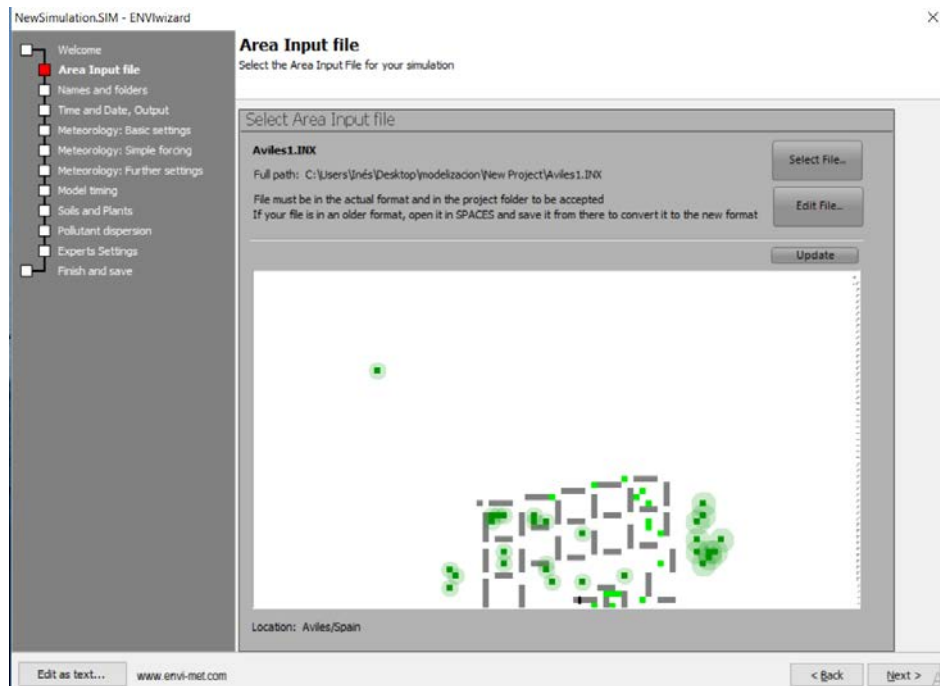


Ilustración 85: elección del archivo. Fuente propia.

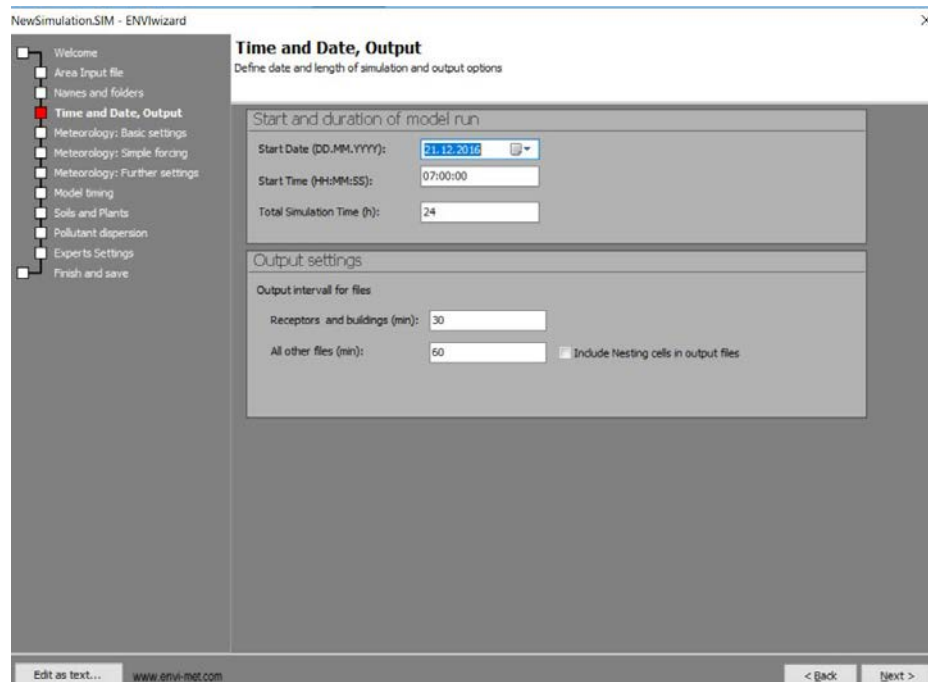


Ilustración 86: introducción del día y la hora donde se empieza a realizar la simulación. Para el mes de verano escogemos el 24 de junio que es el día más largo, mientras que para invierno los datos introducidos son del día más corto, 20 de diciembre, con el fin de comparar los días más extremos. Fuente: autor.

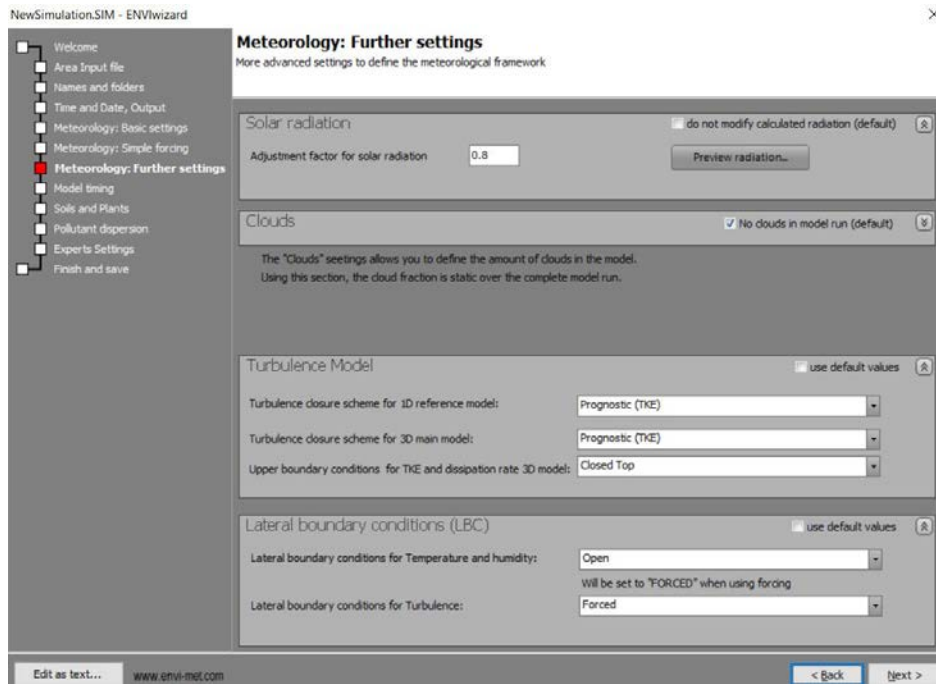


Ilustración 87: en el siguiente punto nos encontramos con una pantalla para introducir los datos meteorológicos. Se han introducido las temperaturas, humedades y velocidad del viento referentes a una media de años anteriores, tanto para el mes de invierno como para el mes de verano<sup>7</sup>. Fuente: autor.

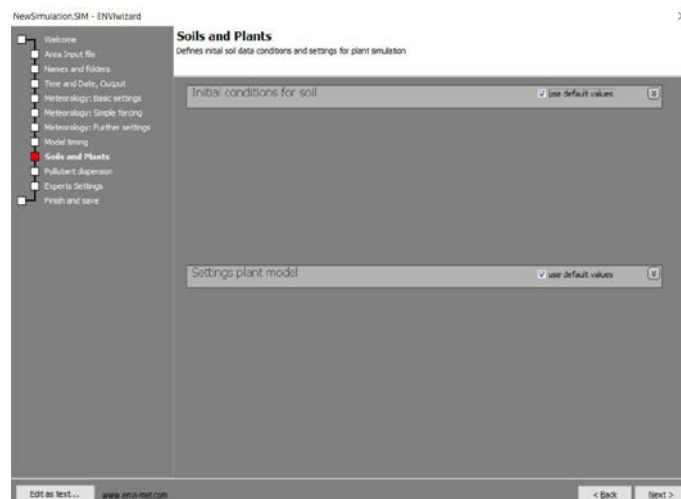


Ilustración 88: modelado de subsuelo y especies vegetales. En este caso queremos que simule en relación con los datos introducidos en el modelo creado anteriormente, por lo que dejamos las pestañas marcadas. Si queremos modificar algún tipo de dato en relación a estos o añadirlo esta sería la ventana adecuada. Fuente: autor.

<sup>7</sup> Ha de tenerse en cuenta que se han realizado dos simulaciones por zona, una de invierno y otra de verano, por lo tanto, se han generado un fichero en ConfigWizard para cada uno de ellos.



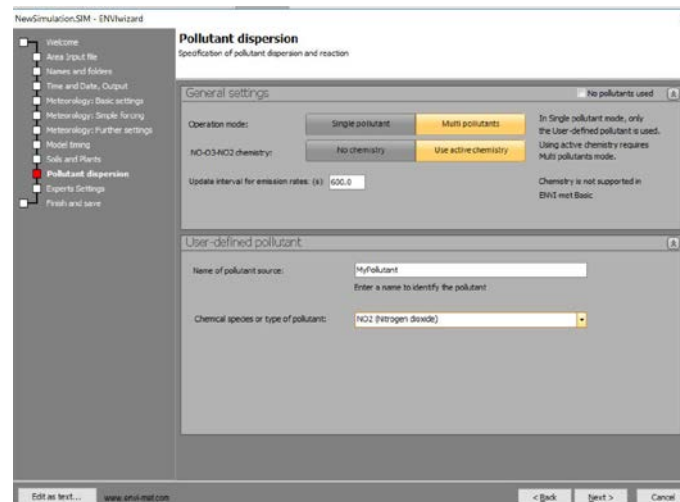


Ilustración 89: pantalla referente a la contaminación. En ella se ha seleccionado las casillas de varias industrias con diferentes productos químicos, debido a que Avilés es la ciudad industrial de referencia en el Principado de Asturias. Fuente: autor.

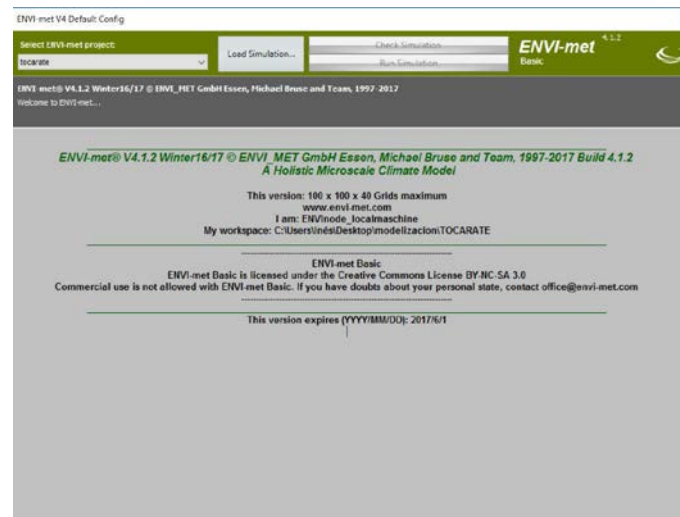


Ilustración 90: una vez tenemos el modelo 3D e introducimos en le herramienta ConfigWizard los datos necesarios, se genera un archivo con extensión .SIM que nos permite abrirlo en la herramienta ENVI – met V4 para comenzar la simulación. Se trata de un proceso que lleva unas horas ya que una vez completado podremos abrir el fichero y observar que ocurre (según una serie de gráficos en 2D). En los siguientes apartados se recogen a modo de resumen los gráficos referentes a diferentes parámetros y las conclusiones deducidas a partir de ellos.



## PROBLEMAS ENCONTRADOS EN ENVI-MET BASIC

Lo primero de todo que se debe comentar es que se ha tratado de modelizar el barrio en su conjunto, sin éxito. Por ello se cree conveniente este apartado donde se refleja toda la problemática encontrada y el trabajo que ha supuesto.

### HERRAMIENTA ENVI SPACES

El primer problema que nos encontramos al comenzar la simulación se trata del escalado, no se consigue realizar de manera precisa cometiendo un margen de error en la longitud de los edificios y la forma de estos.



*Ilustración 91: en esta imagen se aprecia la deformación de la planta de los edificios y como la escala no se encuentra correctamente escalada. Fuente: propia.*

El segundo, que es la más evidente en esta fase, se trata de la representación de los edificios. Ya que al no encontrarse todos con la misma orientación se realiza de forma compleja y distorsionada en cuanto a la realidad.

Se ha de remarcar que esta problemática se observó en el primer momento antes de empezar a utilizar el software, en su estudio previo, y que en los primeros intentos ya se había generado una imagen que consiguiese tener la mayor parte de los edificios del barrio perpendiculares o paralelos a la cuadrícula con el fin de facilitar el proceso.

Tercero, lo mismo que ocurre con las edificaciones aparece en la definición del suelo, como se puede comprobar en la ilustración nº 80.

Cuarto, la definición de especies vegetales en el área podría mejorarse en cuanto a su identificación, ya que los nombres se encuentran en alemán y no viene ningún tipo de imagen.

### HERRAMIENTA ENVI CONFIGWIZARD

En principio no se ha tenido ningún tipo de problema ni mensaje de error. Lo que podemos destacar es la cantidad de datos que podemos introducir, contaminación, características del subsuelo, vegetación.

## SIMULADOR ENVI-MET

En este si nos encontramos el “gran problema” ya que después de haber realizado la modelización del barrio e introducidos todos los datos necesarios en el programa nos transmite un mensaje de error como el siguiente:

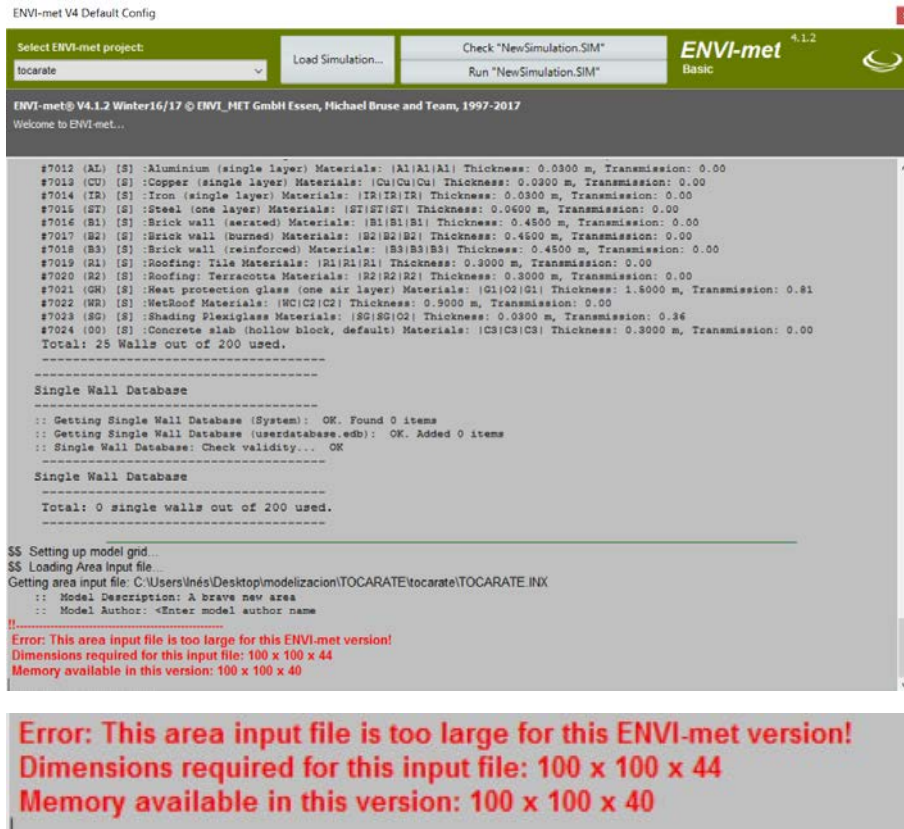


Ilustración 92: imagen del error dado. Fuente propia.

Se debe al tamaño de la simulación, ya que los parámetros exigidos se comprueban y están correctos.

Tras varios intentos, incluso al realizar la modelización del barrio con la cuadrícula predefinida se continúa con el mismo error y se opta por estudiar otra forma de conseguir esta información.

## SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS ENCONTRADOS EMAILS CON EL AUTOR DEL SOFTWARE

Una de las medidas tomadas es tratar de ponerse en contacto con el autor de ENVI-MET contándole la problemática que me he encontrado durante el proceso e intentar solucionarla.

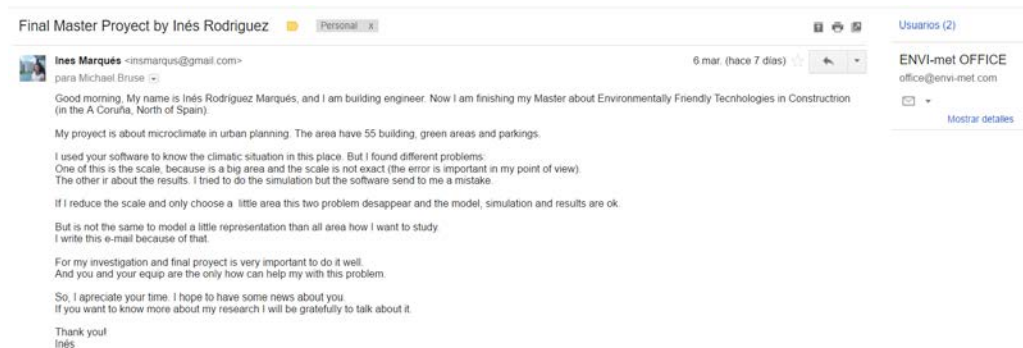


Ilustración 93: primer email enviado al autor. Fuente propia.



Ilustración 94: contestación del autor al primer correo. Fuente propia.

Siguiendo las indicaciones del autor procedimos a descargar la nueva versión que casualmente salió el mismo día que nos pusimos en contacto con el mismo.

Utilizando la nueva versión nos hemos encontrado con una leve mejora en la mejora del escalado del barrio y escala gráfica, pero en cuanto a la simulación me he vuelto a encontrar con mensaje de error como se ha mostrado en el anterior apartado.

Por eso, me he vuelto a poner en contacto una segunda vez explicándole más detalladamente (mediante texto e imágenes) lo que ocurría.

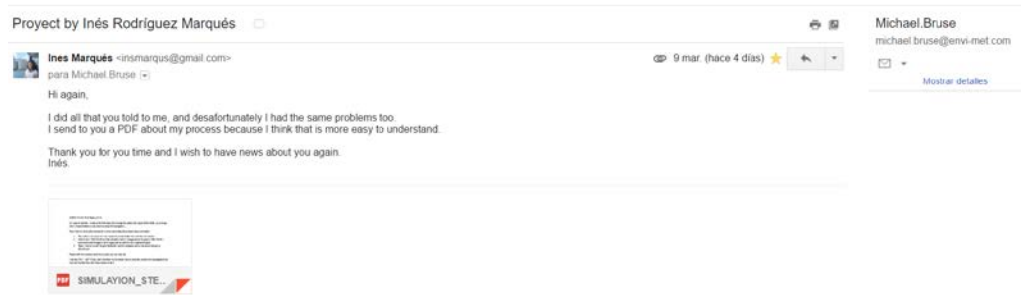


Ilustración 95: segundo correo enviado. Fuente propia.

Mientras se obtiene una contestación al segundo correo, se plantea una segunda alternativa desarrollada en el punto número 2 para poder analizar el barrio y dar una respuesta a las problemáticas existentes.

#### DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS REPRESENTATIVAS.

Como se ha comentado en el apartado anterior, se plantea la siguiente solución con el fin poder extraer una serie de datos, gráficas o parámetros que nos permitan entender que ocurre dependiendo de la estación, invierno o verano.

Para ello dividimos el barrio en tres zonas, ya que estas son las más representativas según orientación de los edificios.



Ilustración 96: se diferencian las 3 zonas representativas. Fuente: propia.

Una vez delimitado seleccionamos un conjunto de viviendas tipo de la Zona 1, con el fin de que represente a las demás edificaciones.

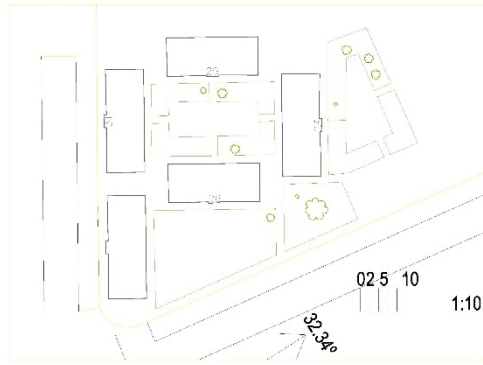


Ilustración 97: elección de las viviendas representativas. Fuente propia.

Con la reducción del espacio de modelización se observan lo siguiente:

1. Al escalar la imagen se realiza de forma precisa.
2. La definición de los inmuebles como de la vegetación, pavimentos y carreteras se realiza de forma sencilla y al igual que la escala muy precisa.

A partir de aquí se ha procedido a realizar todos los pasos necesarios para la obtención de datos sin ningún tipo de incidencia u error en el proceso.

#### DETERMINACIÓN DE LA VEGETACIÓN

Para poder identificar de manera más fácil y sencilla el tipo de vegetación perteneciente en la zona y la que tenemos en la biblioteca de ENVI-MET he realizado una sencilla guía con el nombre del árbol y una fotografía que lo represente.

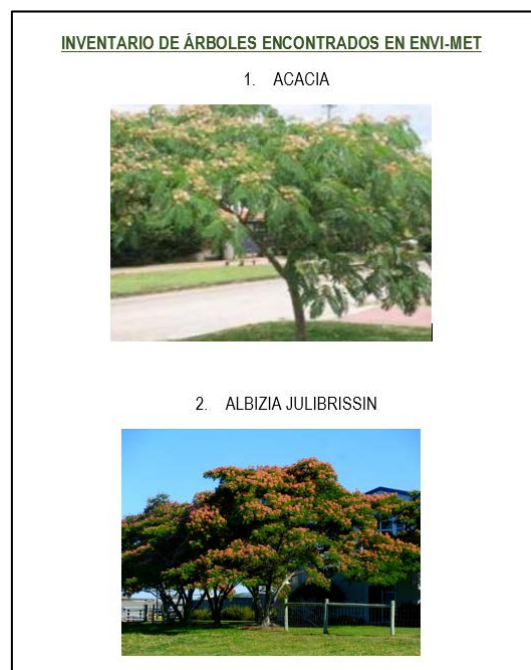


Ilustración 98: ejemplo del inventario de árboles encontrados en ENVI-MET.



Las especies que no se han encontrado en la biblioteca se han sustituido por otras con similares características en cuanto a altura y forma.

#### ANÁLISIS DE LOS DATOS APORTADOS POR ENVI-MET

Antes de proceder a analizar zona por zona, los datos introducidos en cuanto al clima, humedad, radiación solar, etc. Se han obtenido del estudio climático que se ha realizado en este trabajo o de bases de datos de estaciones meteorológicas del mismo concejo.

Por ello los datos para realizar la simulación de invierno han sido los siguientes:

21 Diciembre Medias y Extremos	
Temperatura media	14.1°C
Humedad media	84%
Rocio medio	11.3°C
Presión media	1026.5 mb
Velocidad media	1.1 km/h
Racha media	2.1 km/h
Dirección media	192° (SSO)
Precipitación mensual	32.0 mm
Precipitación anual	1265.3 mm
Intensidad máxima por minuto	0.3 mm el 21 a las 17:43
Temperatura máxima	16.4°C el 21 a las 13:33
Temperatura mínima	12.1°C el 21 a las 02:46
Humedad máxima	90% el 21 a las 00:41
Humedad mínima	68% el 21 a las 12:26
Presión máxima	1027.7 mb el 21 a las 10:56
Presión mínima	1024.5 mb el 21 a las 00:48
Velocidad media máxima	7.4 km/h el 21 a las 01:37
Racha máxima	11.1 km/h del 270°(O) el 21 a las 00:41
Heat index máximo	16.4°C el 21 a las 13:33

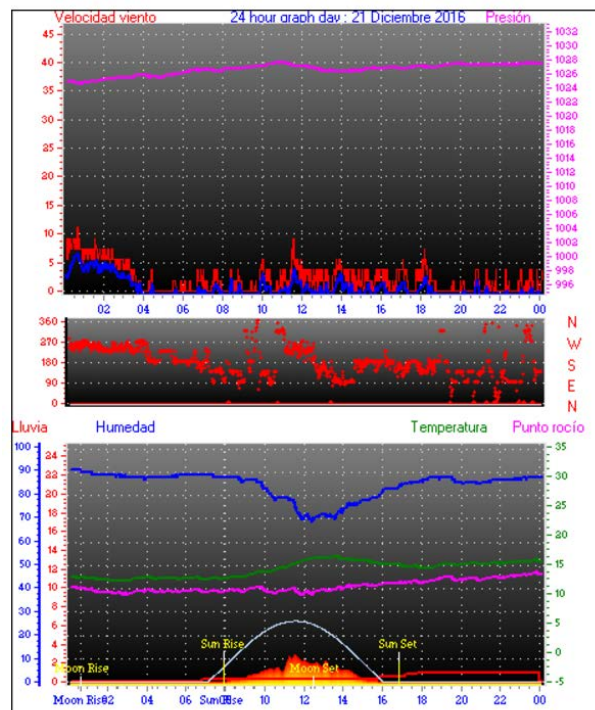


Ilustración 99: tabla y gráficos que nos aportan los datos necesarios sobre lo ocurrido el día 21 de diciembre del 2016. Fuente AEMET.

Mientras que en verano:

23 Junio Medias y Extremos	
Temperatura media	20.6°C
Humedad media	86%
Rocío medio	18.1°C
Presión media	1017.5 mb
Velocidad media	3.7 km/h
Racha media	6.0 km/h
Dirección media	333° (NNO)
Precipitación mensual	96.3 mm
Precipitación anual	873.6 mm
Intensidad máxima por minuto	3.0 mm el 23 a las 14:32
Temperatura máxima	21.5°C el 23 a las 11:40
Temperatura mínima	19.6°C el 23 a las 23:56
Humedad máxima	92% el 23 a las 07:37
Humedad mínima	75% el 23 a las 11:37
Presión máxima	1021.1 mb el 23 a las 22:40
Presión mínima	1013.9 mb el 23 a las 02:22
Velocidad media máxima	13.0 km/h el 23 a las 11:53
Racha máxima	25.9 km/h del 315°(NO) el 23 a las 14:17
Heat index máximo	22.6°C el 23 a las 11:37

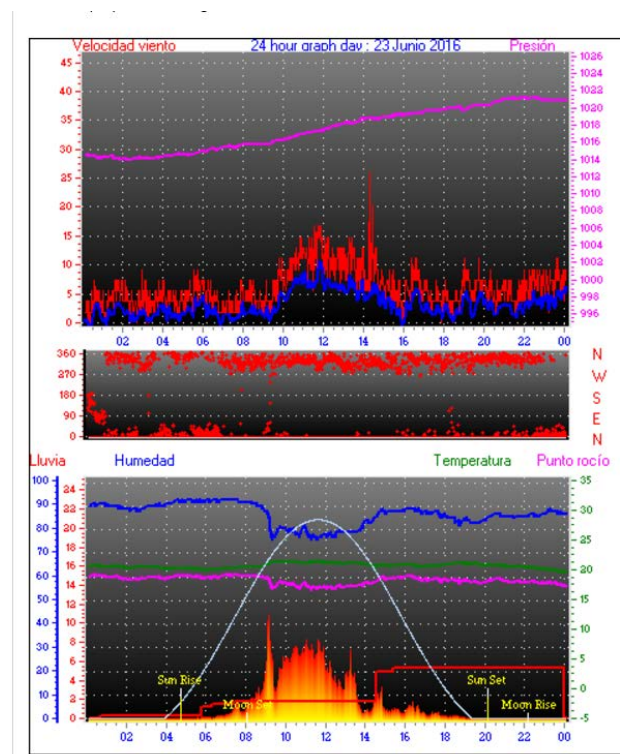


Ilustración 100: tabla y gráficos que nos aportan los datos necesarios sobre lo ocurrido el día 23 de JUNIO del 2016. Fuente AEMET.



## ZONA 1

Para la elección de un espacio representativo en la Zona 1 se ha escogido un extremo ya que nos permite analizar lo que sucede en los extremos y en las zonas intermedias.



Ilustración 101: área representativa de la zona 1. Fuente propia.

## Invierno

### 1. Viento

En general la velocidad del viento se hace más intensa en los espacios entre edificios debido a que se crea un canal y la velocidad del viento aumenta.

Se aprecia que por las mañanas las rachas de viento son más suaves aumentando por las tardes hasta los 0,60 m/s.

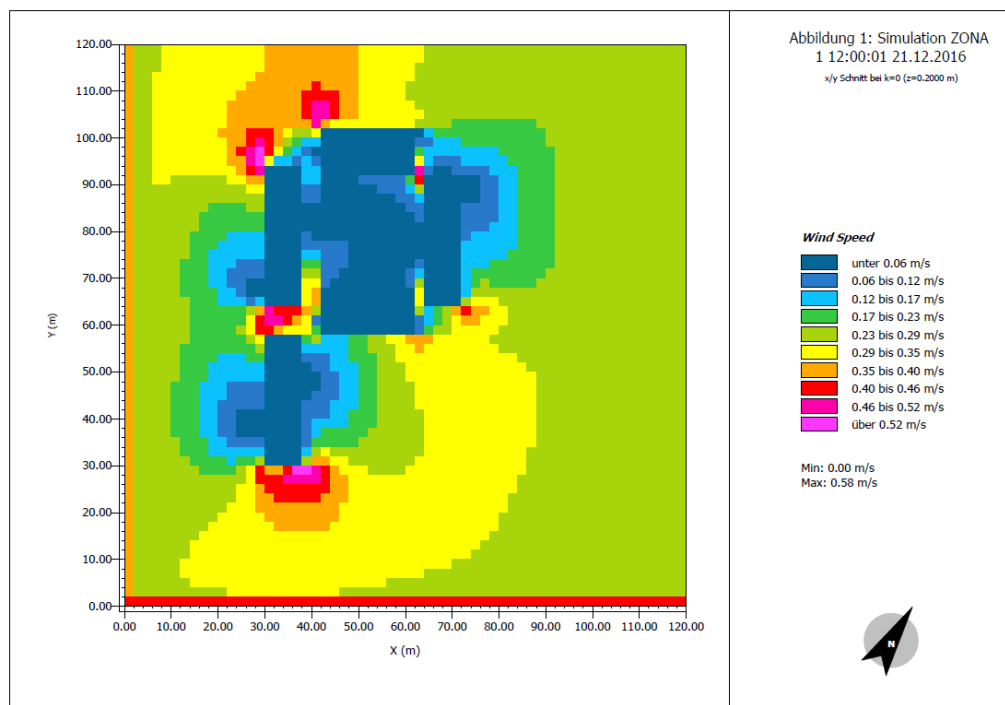


Ilustración 102: gráfica sobre las velocidades del viento a las 12:00. Fuente propia.

## 2. Temperatura del aire

En los gráficos se aprecia como la temperatura del aire va cambiando a medida que va avanzando el día, empezando con temperaturas en torno a los 16°C por la mañana en las zonas que rodean los edificios y aumentando hasta los 21°C a medio día. Reduciéndose de nuevo al comenzar la tarde noche.

En las zonas céntricas se aprecia como a principios del día y finales del mismo se concentran las más altas temperaturas, manteniéndose más constante a lo largo del día en relación a las vías públicas.

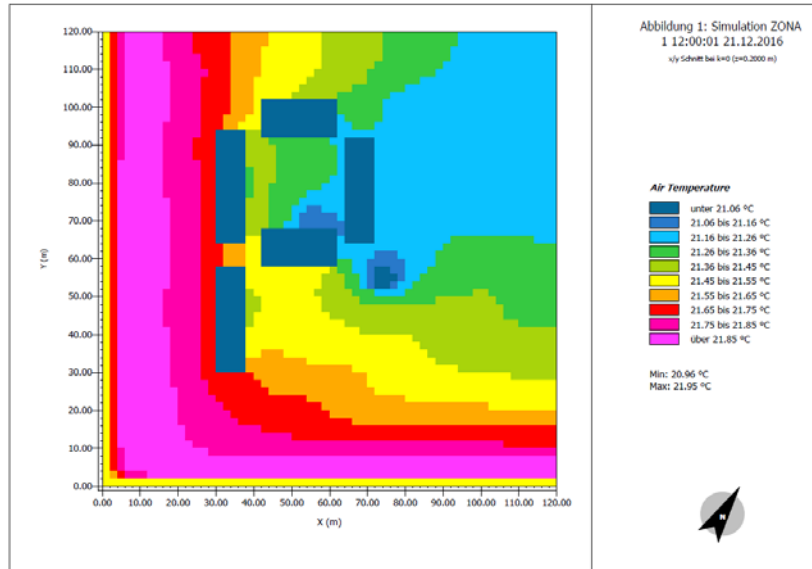


Ilustración 103: gráfica sobre la temperatura del aire a las 12:00. Fuente propia.

## 3. Humedad relativa

La humedad relativa que se encuentra en el aire también varía a lo largo del día, entre el 51% a medio día y el 73% por las mañanas y tardes. Manteniéndose más o menos constante a lo largo del día en las zonas centrales y alrededor de los edificios.

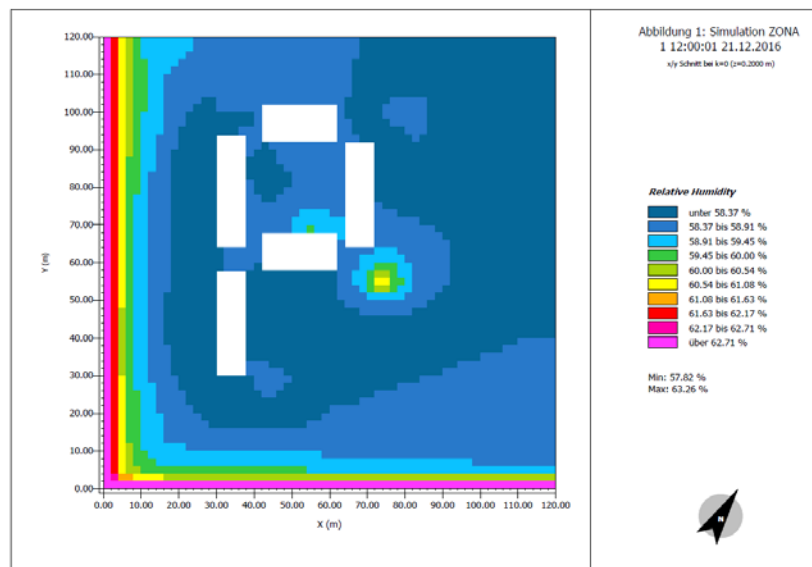


Ilustración 104: gráfica sobre humedades relativa a las 12:00. Fuente propia.

#### 4. Radiación solar directa

Las gráficas que nos aportan los datos sobre la radiación solar directa nos aportan los datos sobre los W/m<sup>2</sup> que recibe la zona 2 en función de la hora. La radiación solar directa que recibe esta zona sobre todo se encuentra entre las 10:00 y las 16:00 horas.

Llegando a medio día a alcanzar los 305 W/m<sup>2</sup>.

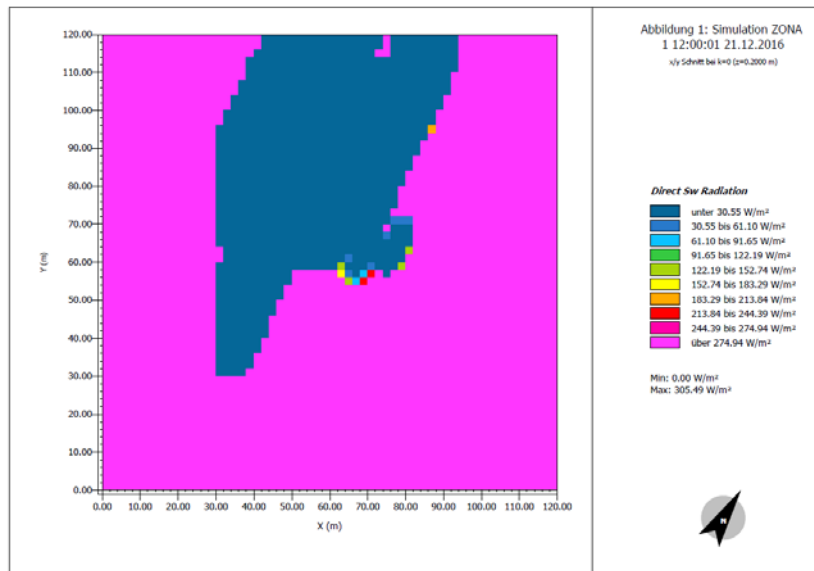


Ilustración 105: gráfica sobre radiación solar directa. Fuente propia.

#### 5. Radiación solar difusa

En cuanto a la radiación difusa entre las 10:00 y las 14:00 no varía. Recibiendo las zonas exteriores, carreteras mayores cantidades que los edificios y las zonas centrales comunes. Como se puede apreciar en la siguiente figura.

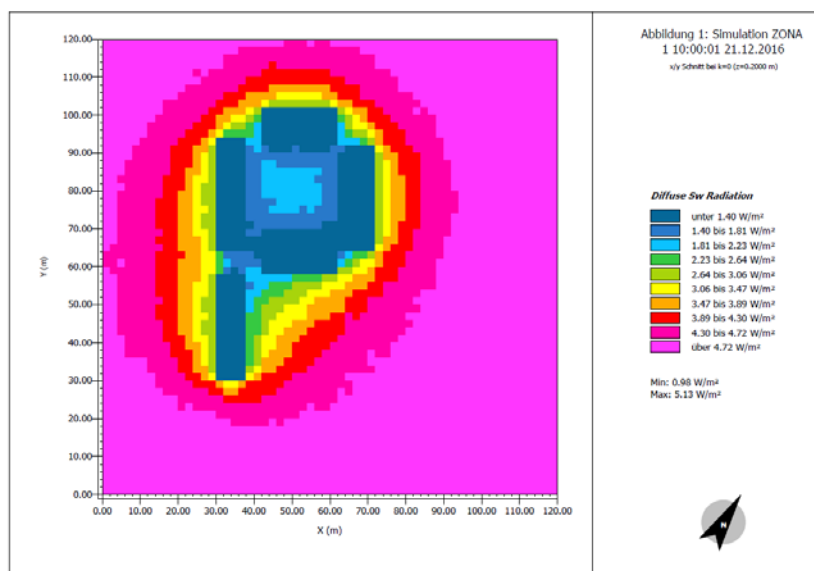


Ilustración 106: gráfica sobre radiación solar difusa. Fuente propia.

## 6. Radiación solar reflejada

Mientras que la radiación solar reflejada se hace más intensa en las zonas centrales comunes que se encuentran entre los edificios y alrededor de estos, sin apenas variación en el transcurso de tiempo entre las 10:00 y las 00:00.

Alcanzando los 31 W/m<sup>2</sup> a medio día y en las zonas perimetrales centrales de los edificios.

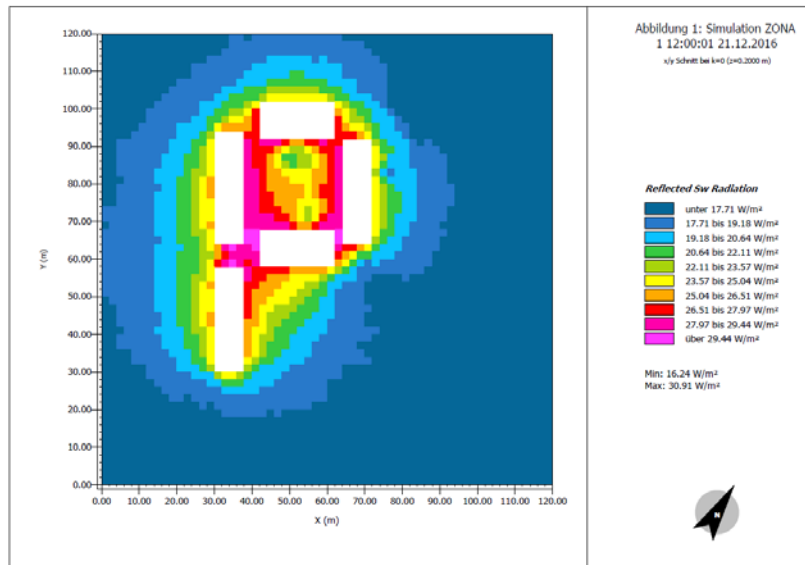


Ilustración 107: gráfica sobre radiación solar reflejada. Fuente propia.

## 7. Contaminación

Como hemos visto en las anteriores secciones el nivel de contaminación depende de las diferentes industrias que se encuentren en la zona, así como la velocidad del viento que mueve o no esas partículas contaminantes.

Los niveles de CO<sub>2</sub> que se encuentran varían en función de la hora, pero predominan los valores más elevados entre las primeras horas y últimas horas del día, en especial a las 20:00. Llegando a los 360 ppm.

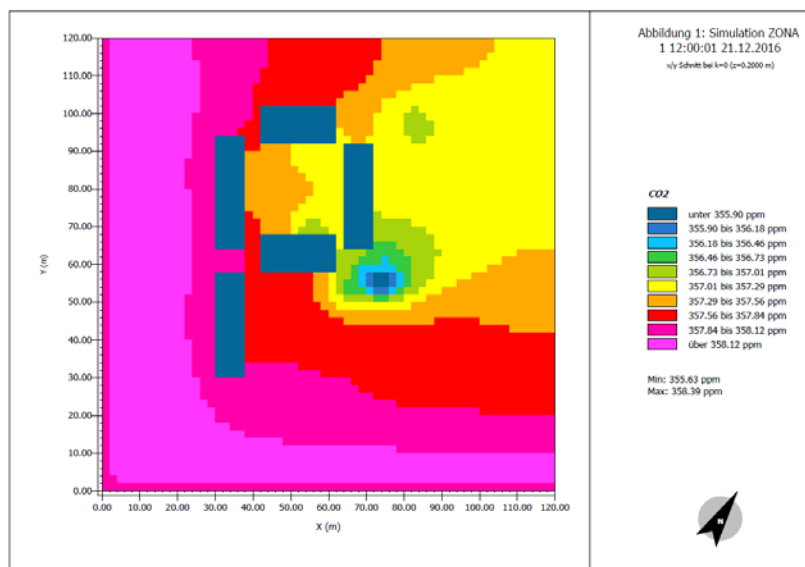


Ilustración 108: gráfica sobre concentración de partículas contaminantes. Fuente propia.

## Verano

### 1. Velocidad del viento

La velocidad del viento en torno a los edificios y zonas centrales comunes se baja (aproximadamente 0,20 m/s), produciéndose zonas con velocidades más rápidas en puntos exteriores como se puede ver en las gráficas.

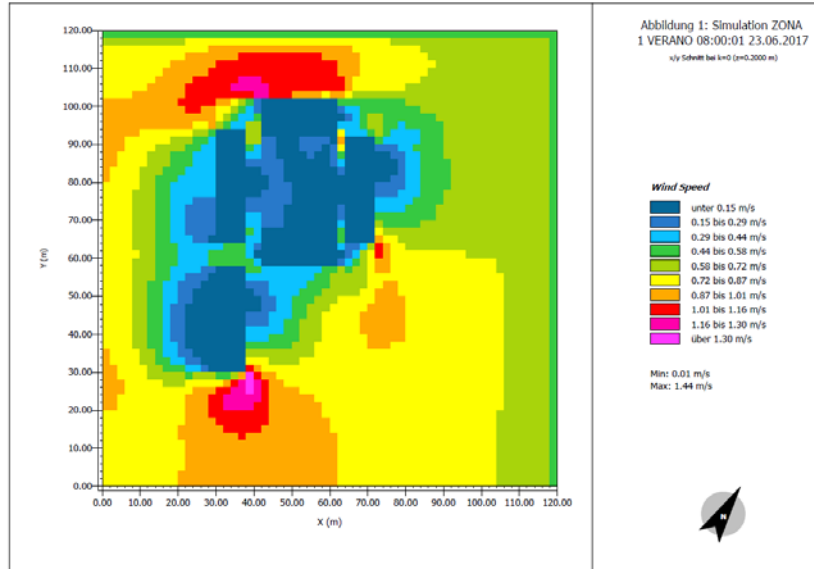


Ilustración 109: gráfica sobre las velocidades del viento a las 12:00. Fuente propia.

### 2. Temperatura del aire

La temperatura del aire varía a lo largo del día entre los 17°C por la mañana, alcanzando los 29 °C en los viales . Se aprecia como a primeras horas las máximas temperaturas se encuentran en tornos a los edificios entre los 17 y 18 °C y sus zonas centrales, mientras que luego son estos los que tienen menor temperatura con respecto a los viales (suponiendo una diferencia de 3°C).

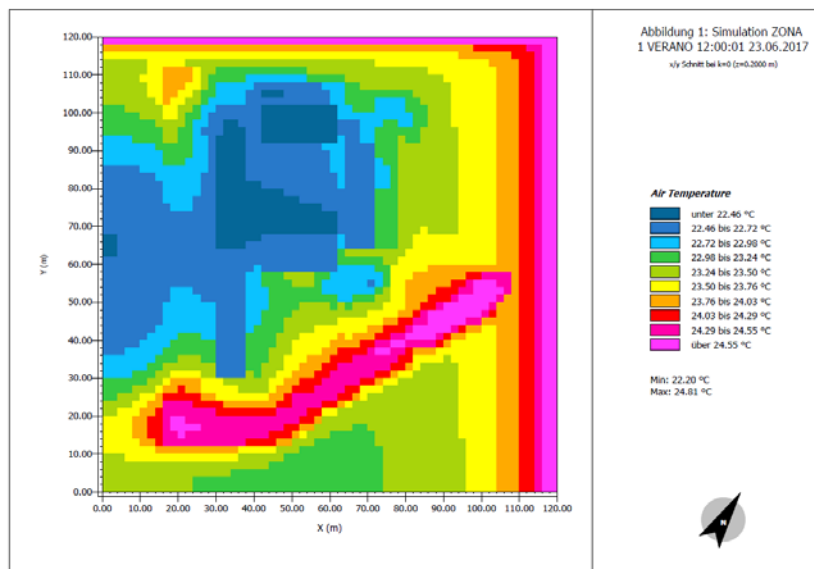


Ilustración 110: gráfica sobre la temperatura del aire a las 12:00. Fuente propia.

### 3. Humedad relativa

También se aprecia su evolución y cambio, como en el caso de la temperatura del aire. Variando entre los 45 y 73%. Teniendo las zonas centrales de uso común en torno a los edificios menos variaciones de humedad.

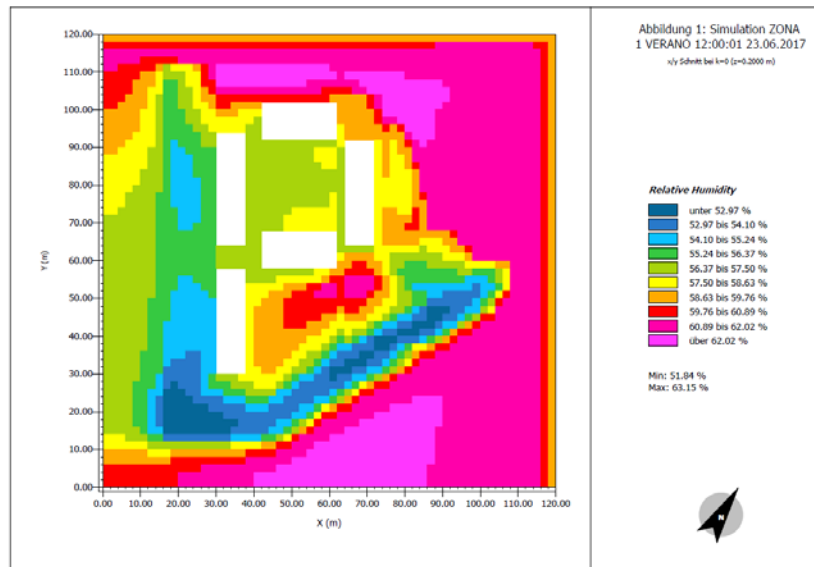


Ilustración 111: gráfica sobre la humedad relativa a las 12:00. Fuente propia.

### 4. Radiación directa

Durante la época de verano todos los edificios y sus fachadas van recibiendo radiación solar directa durante mucho más tiempo y sin apenas sombras arrojadas unos sobre otros llegando a alcanzar los 800 W/m<sup>2</sup>.

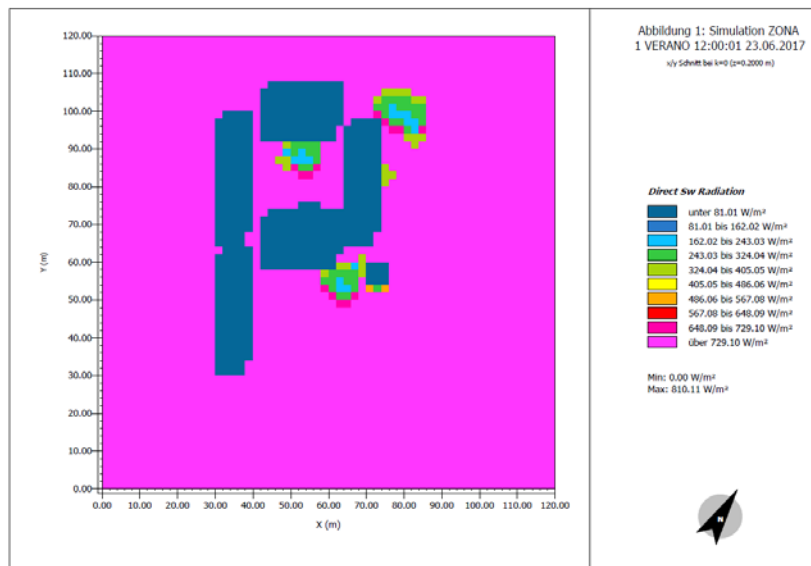


Ilustración 112: gráfica sobre la radiación solar directa a las 12:00. Fuente propia.

## 5. Radiación difusa

La radiación solar difusa se comporta de manera igual en verano que en invierno, sin variación en la cantidad de  $\text{W/m}^2$  recibidos. Los edificios, así como las zonas centrales de uso común son las que menos radiación difusa reciben en torno a los  $0.9 \text{ W/m}^2$ .

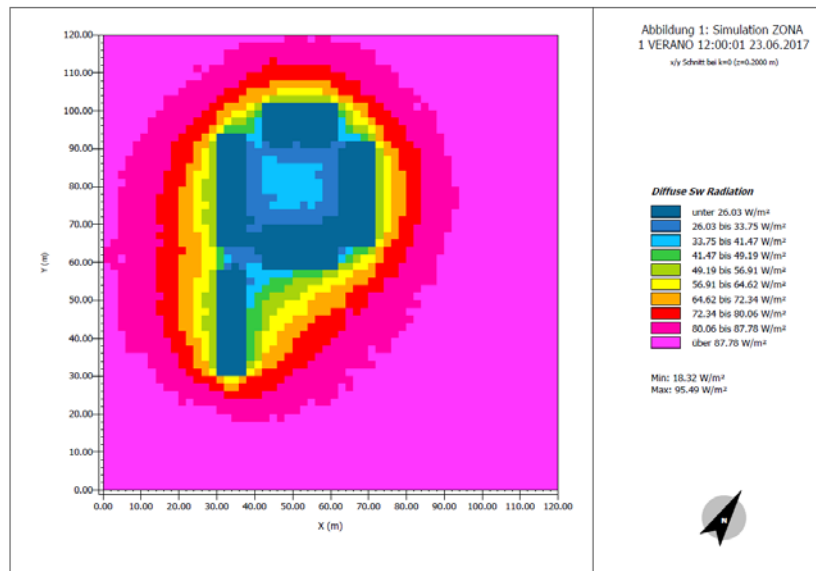


Ilustración 113: gráfica sobre la radiación difusa a las 12:00. Fuente propia.

## 6. Radiación reflejada

Aunque se produce variación a lo largo del día, se puede resumir como la mayoría de la radiación reflejada se concentra en las zonas centrales de uso común y en las fachada principal y posterior de las edificaciones. Con una media de  $150 \text{ W/m}^2$  en las zonas perimetrales centrales en torno a los edificios.

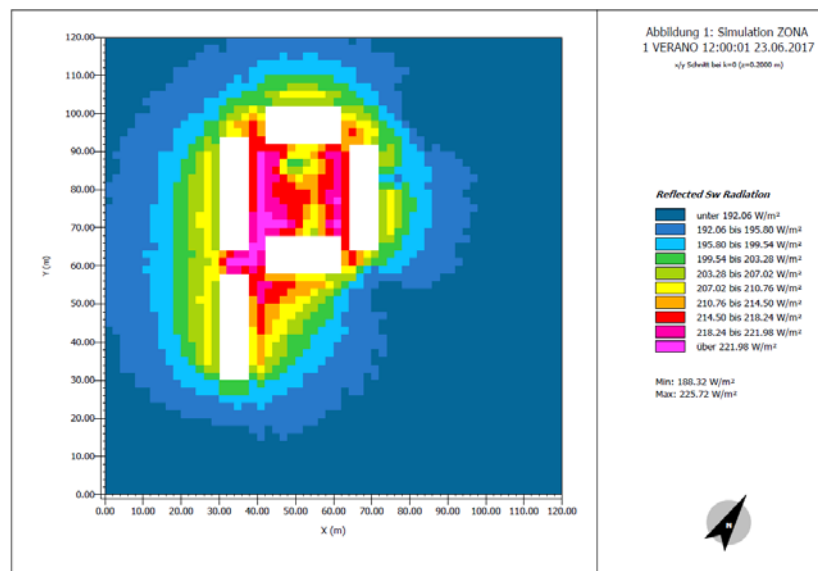
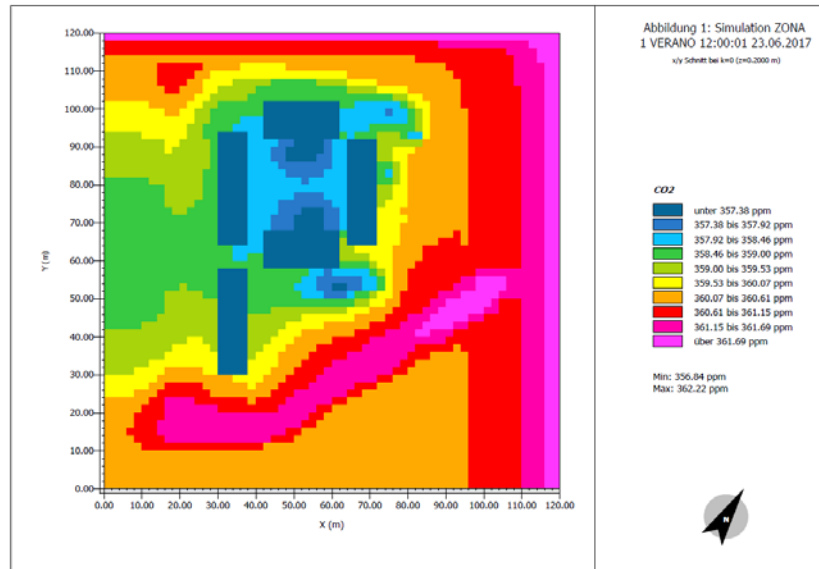


Ilustración 114: gráfica sobre radiación solar reflejada a las 12:00. Fuente propia.



## 7. Contaminación

La contaminación atmosférica de CO<sub>2</sub> varía en función del tiempo, pudiendo simplificar las gráficas sabiendo que en torno a los edificios y zonas comunes centrales hay una concentración de aproximadamente 360 ppm. Entre las 00:00 y las 04:00 las partículas se ven concentradas en la zona central de los edificios y en el Oeste.



## ZONA 2

En este caso se ha escogido una zona intermedia que permite analizar también lo que sucede en los extremos.



Ilustración 116: área representativa en la zona 2. Fuente propia.

## Invierno

### 1. Viento

En general la velocidad del viento se hace más intensa en los espacios entre edificios debido a que se crea un canal y la velocidad del viento aumenta.

Se aprecia que por las mañanas las rachas de viento son más suaves aumentando por las tardes hasta los 0,60 m/s.

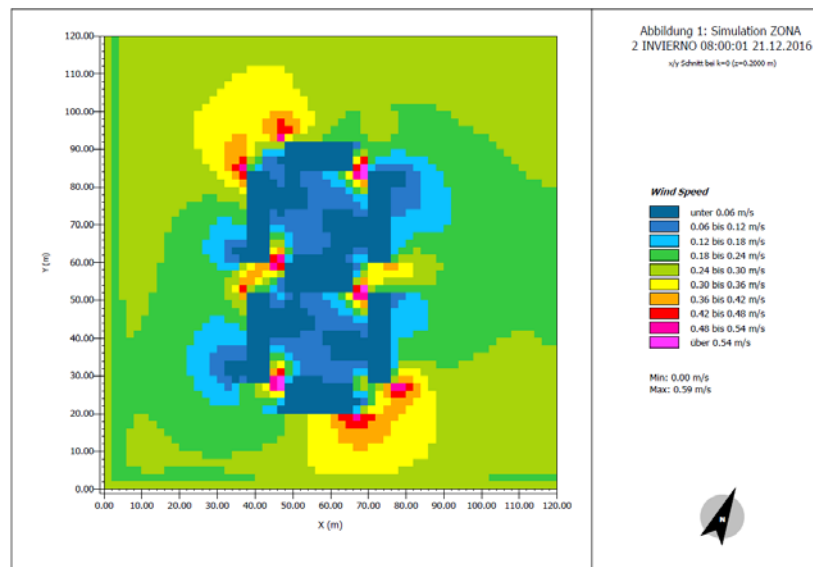


Ilustración 117: gráfica sobre las velocidades del viento a las 12:00. Fuente propia.

## 2. Temperatura del aire

En los gráficos se aprecia como la temperatura del aire va cambiando a medida que va avanzando el día, empezando con temperaturas en torno a los 16°C por la mañana en las zonas que rodean los edificios y aumentando hasta los 21°C a medio día. Reduciéndose de nuevo al comenzar la tarde noche.

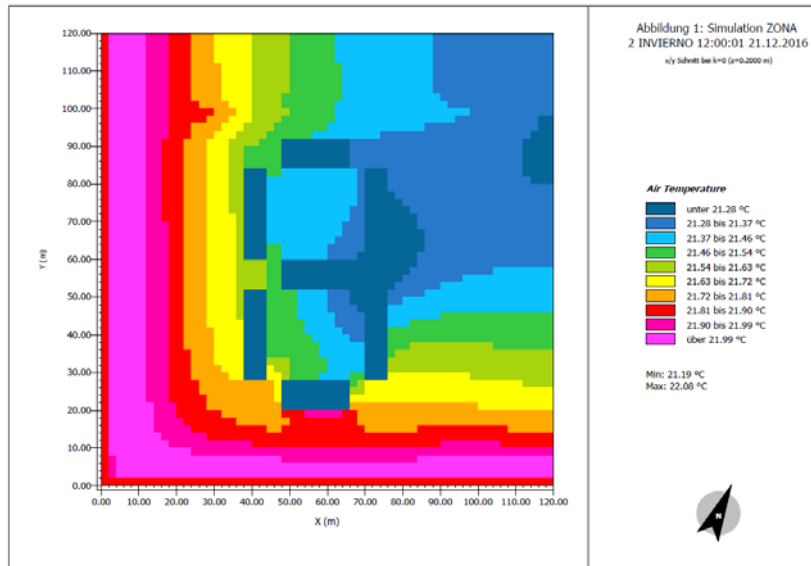


Ilustración 118: gráfica sobre la temperatura en el aire a las 12:00. Fuente propia.

## 3. Humedad relativa

La humedad relativa que se encuentra en el aire también varía a lo largo del día, entre el 51% a medio día y el 65% por las mañanas y tardes.

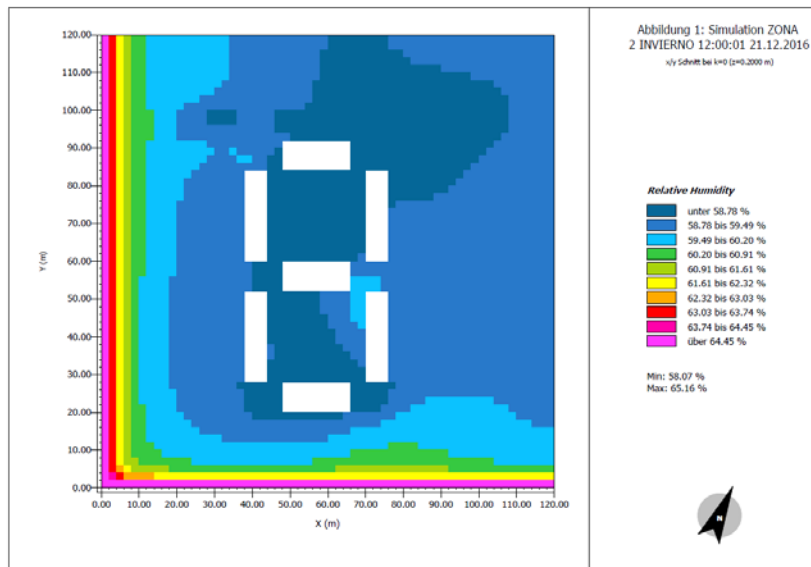


Ilustración 119: gráfica la humedad relativa a las 12:00. Fuente propia.

#### 4. Radiación solar directa

Las gráficas que nos aportan los datos sobre la radiación solar directa nos aportan los datos sobre los W/m<sup>2</sup> que recibe la zona 2 en función de la hora. La radiación solar directa que recibe esta zona sobre todo se encuentra entre las 10:00 y las 16:00 horas.

Llegando a medio día a alcanzar los 400 W/m<sup>2</sup>.

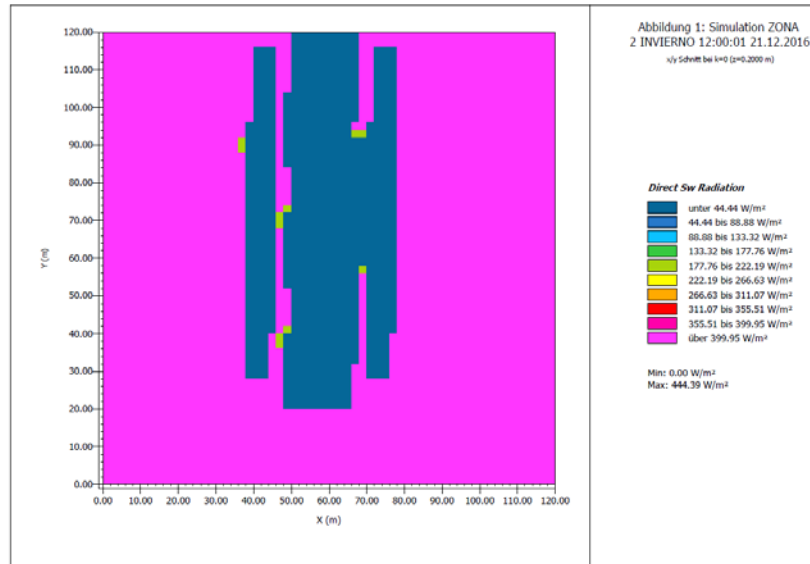


Ilustración 120: gráfica sobre radiación solar directa a las 12:00. Fuente propia.

#### 5. Radiación solar difusa

En cuanto a la radiación difusa entre las 10:00 y las 16:00 no varía. Recibiendo las zonas exteriores, carreteras mayores cantidades que los edificios y las zonas centrales comunes.

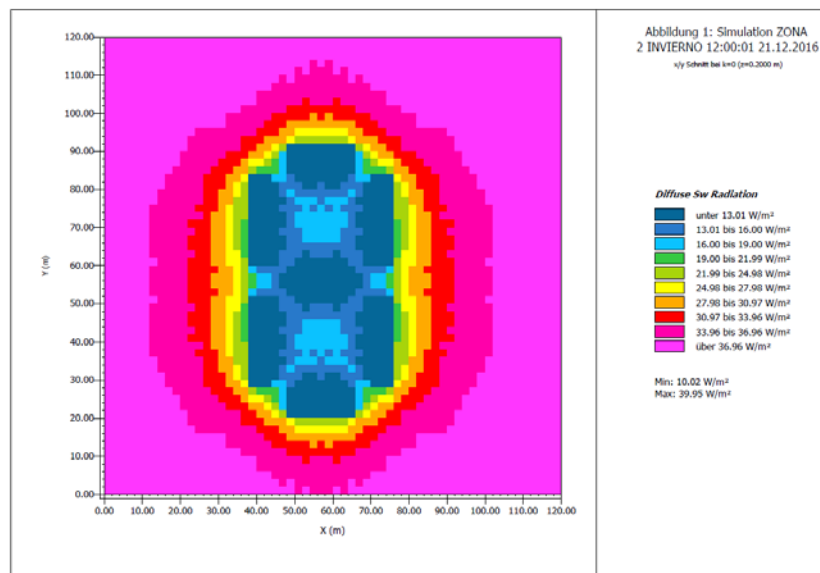


Ilustración 121: gráfica sobre la radiación solar difusa a las 12:00. Fuente propia.

## 6. Radiación solar reflejada

Mientras que la radiación solar reflejada se hace más intensa en las zonas centrales comunes que se encuentran entre los edificios y alrededor de estos, sin apenas variación en el transcurso de tiempo entre las 10:00 y las 00:00.

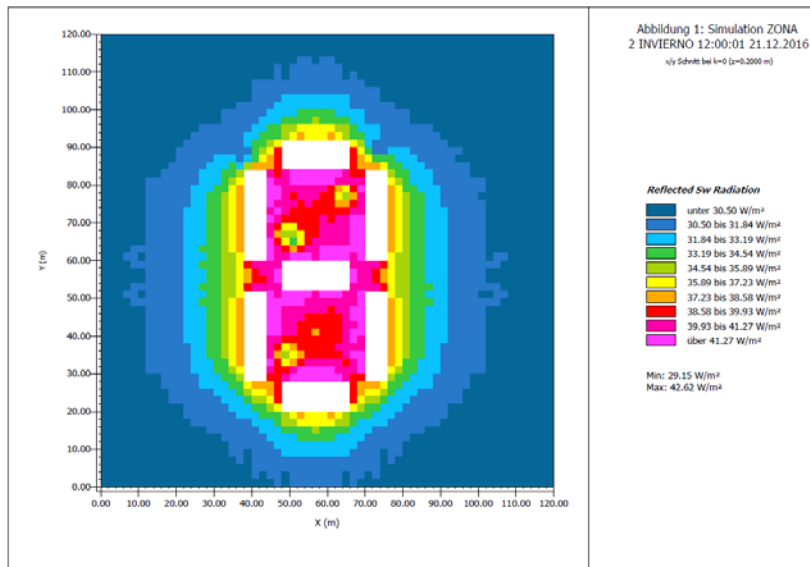


Ilustración 122: gráfica sobre radiación solar reflejada a las 12:00. Fuente propia.

## 7. Contaminación

Como hemos visto en las anteriores secciones el nivel de contaminación depende de las diferentes industrias que se encuentren en la zona, así como la velocidad del viento que mueve o no esas partículas contaminantes.

Los niveles de CO<sub>2</sub> que se encuentran varían en función de la hora, pero predominan los valores más elevados entre las primeras horas y últimas horas del día en las zonas centrales entre los edificios.

Llegando a los 360 ppm.

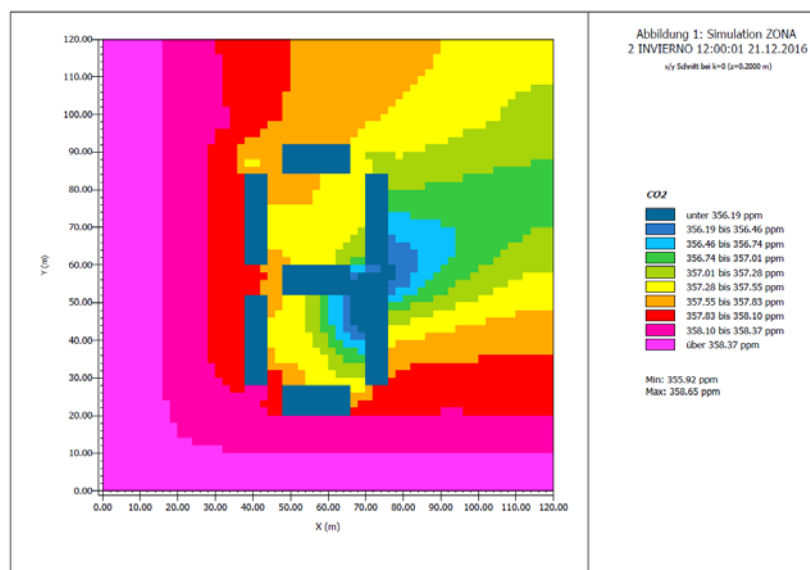


Ilustración 123: gráfica sobre las partículas contaminantes en el aire a las 12:00. Fuente propia.

## Verano

### 1. Velocidad del viento

La velocidad del viento en torno a los edificios y zonas centrales comunes se baja (aproximadamente 0,20 m/s), produciéndose zonas con velocidades más rápidas en determinados puntos como se puede ver en las gráficas.

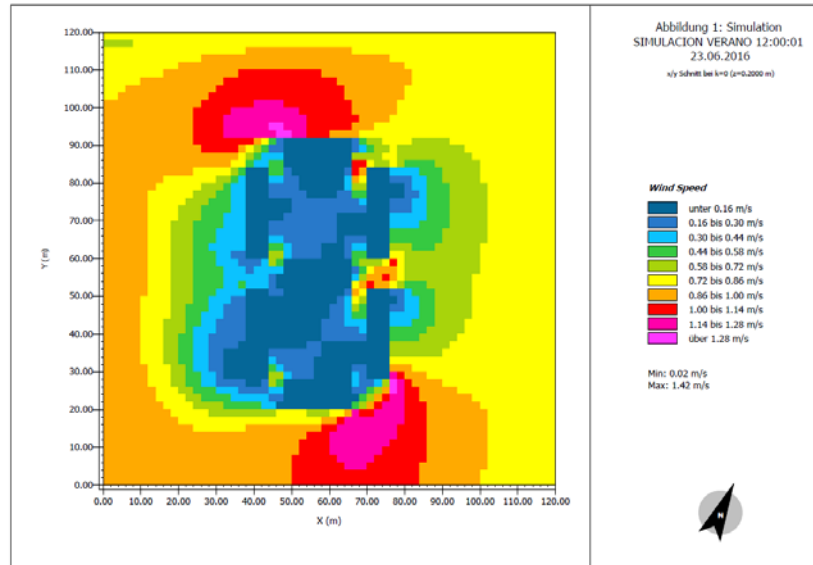


Ilustración 124: gráfica sobre la velocidad del aire a las 12:00. Fuente propia.

### 2. Temperatura del aire

La temperatura del aire varía a lo largo del día entre los 17°C por la mañana y los 26°C por la tarde. Se aprecia como a primeras horas las máximas temperaturas se encuentran en torno a los edificios y sus zonas centrales, mientras que luego son estos los que tienen menor temperatura con respecto a los viales.

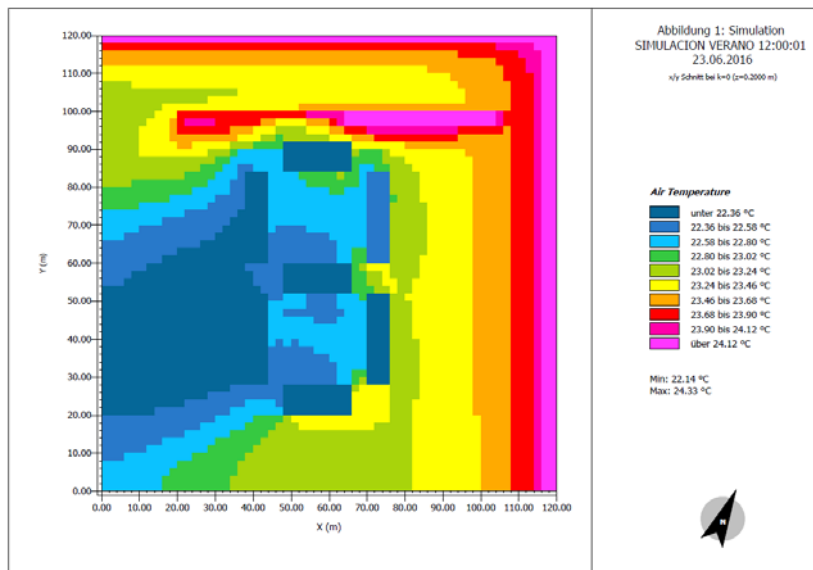


Ilustración 125: gráfica sobre la temperatura del aire a las 12:00. Fuente propia.

### 3. Humedad relativa

También se aprecia su evolución y cambio, como en el caso de la temperatura del aire. Variando entre los 45 y 65%. Teniendo las zonas centrales de uso común en torno a los edificios menos variaciones de humedad.

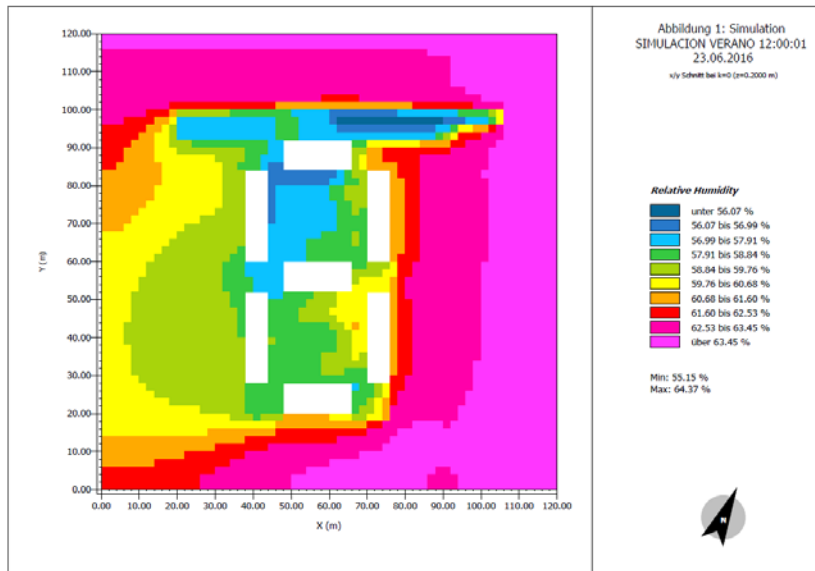


Ilustración 126: gráfica sobre la humedad relativa a las 12:00. Fuente propia.

### 4. Radiación directa

Durante la época de verano todos los edificios y sus fachadas van recibiendo radiación solar directa durante mucho más tiempo y sin apenas sombras arrojadas unos sobre otros llegando a alcanzar los 800 W/m<sup>2</sup>.

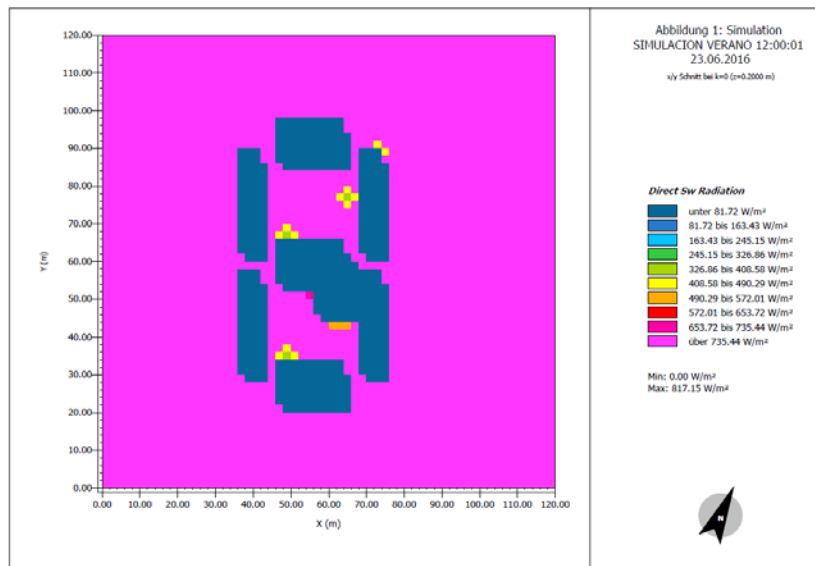


Ilustración 127: gráfica sobre la radiación solar directa a las 12:00. Fuente propia.



## 5. Radiación difusa

La radiación solar difusa se comporta de manera igual en verano que en invierno, variando la cantidad de  $\text{W/m}^2$  recibidos. Los edificios, así como las zonas centrales de uso común son las que menos radiación difusa reciben y no se produce variación a lo largo de las 24 horas estudiadas.

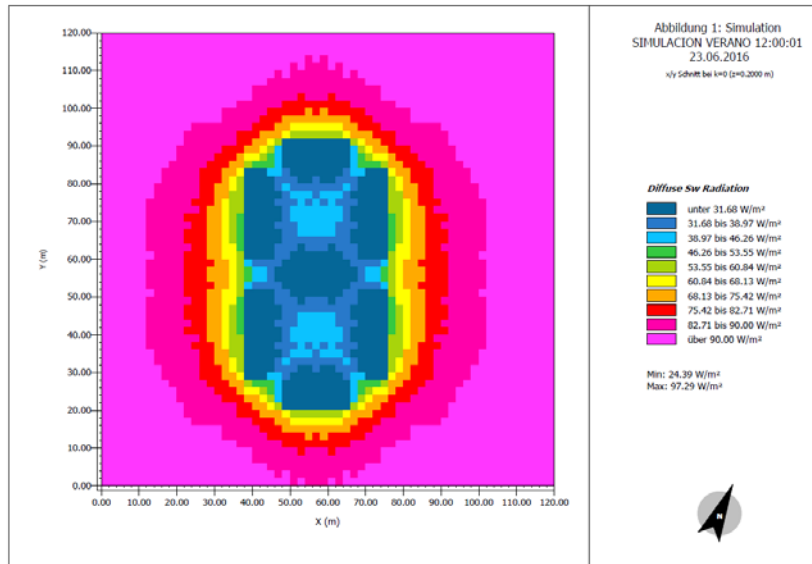


Ilustración 128: gráfica sobre la radiación solar difusa a las 12:00. Fuente propia.

## 6. Radiación reflejada

Aunque se produce variación a lo largo del día, se puede resumir como la mayoría de la radiación reflejada se concentra en las zonas centrales de uso común y en las fachada principal y posterior de las edificaciones.

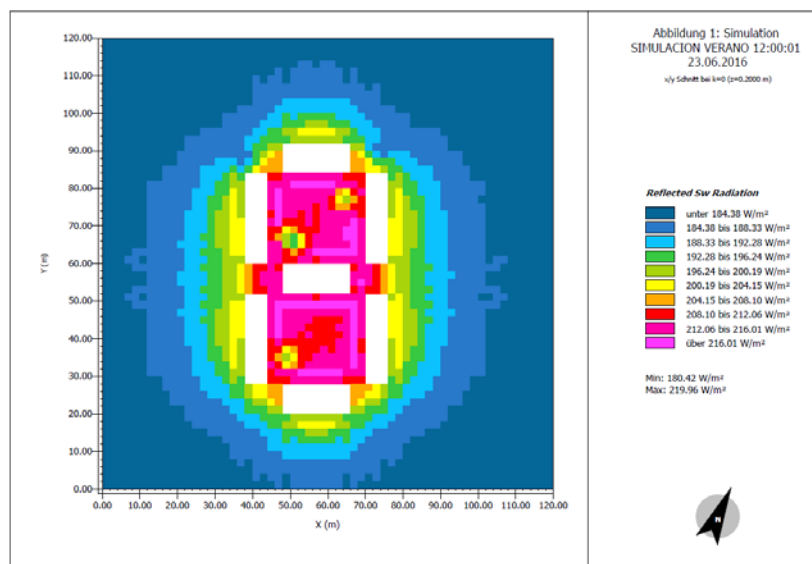
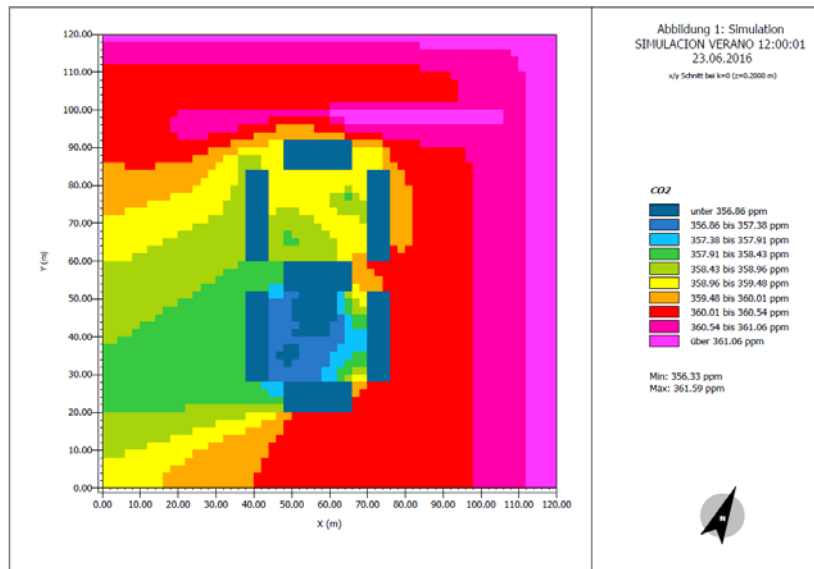


Ilustración 129: gráfica sobre radiación solar reflejada a las 12:00. Fuente propia.

## 7. Contaminación

La contaminación atmosférica de CO<sub>2</sub> varía en función del tiempo, pudiendo simplificar las gráficas sabiendo que en torno a los edificios y zonas comunes centrales hay una concentración de aproximadamente 360 ppm.



### ZONA 3

También se ha optado por escoger una zona intermedia a la hora de realizar la modelización y simulación de esta zona.



Ilustración 131: área de representación en la zona 3. Fuente propia.

### Invierno

#### 1. Viento

En general la velocidad del viento se hace más intensa en los espacios entre edificios debido a que se crea un canal y la velocidad del viento aumenta. Los edificios que se encuentren en las esquinas del barrio serán los que se verán más afectados por este fenómeno.

Se aprecia que por las mañanas las rachas de viento son más suaves aumentando por las tardes hasta los 0,70 m/s.

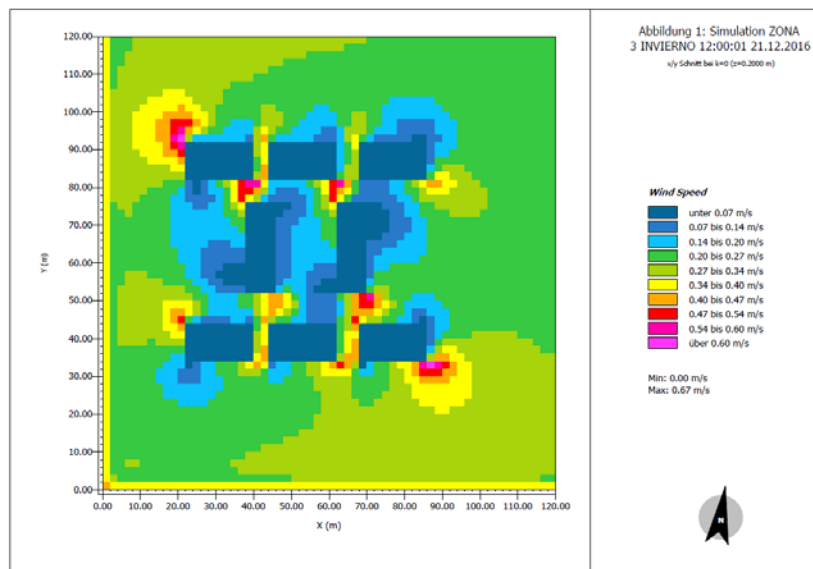


Ilustración 132: gráfica sobre la velocidad del viento a las 12:00. Fuente propia.

## 2. Temperatura del aire

En los gráficos se aprecia como la temperatura del aire va cambiando a medida que va avanzando el día, empezando con temperaturas en torno a los 15°C por la mañana en las zonas que rodean los edificios y aumentando hasta los 21°C a medio día. Reduciéndose de nuevo al comenzar la tarde noche.

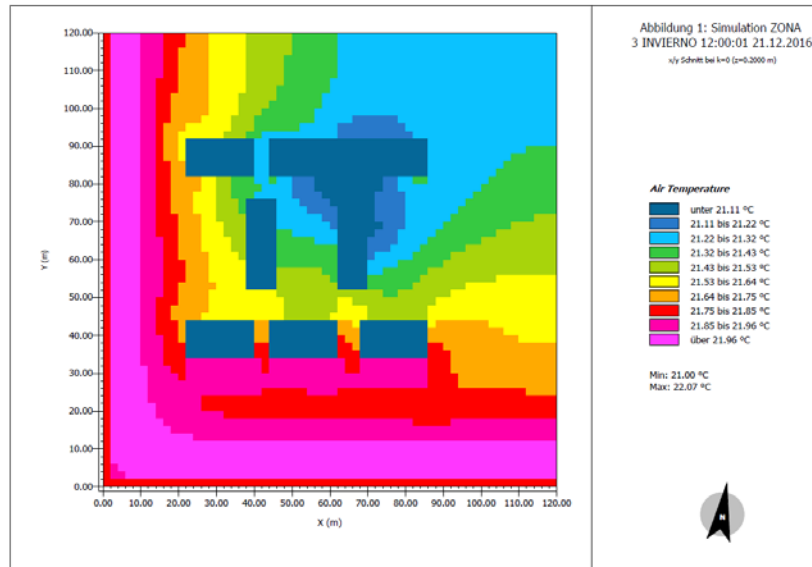


Ilustración 133: gráfica sobre la temperatura del aire a las 12:00. Fuente propia.

## 3. Humedad relativa

La humedad relativa que se encuentra en el aire también varía a lo largo del día, entre el 51% a medio día y el 65% por las mañanas y tardes.

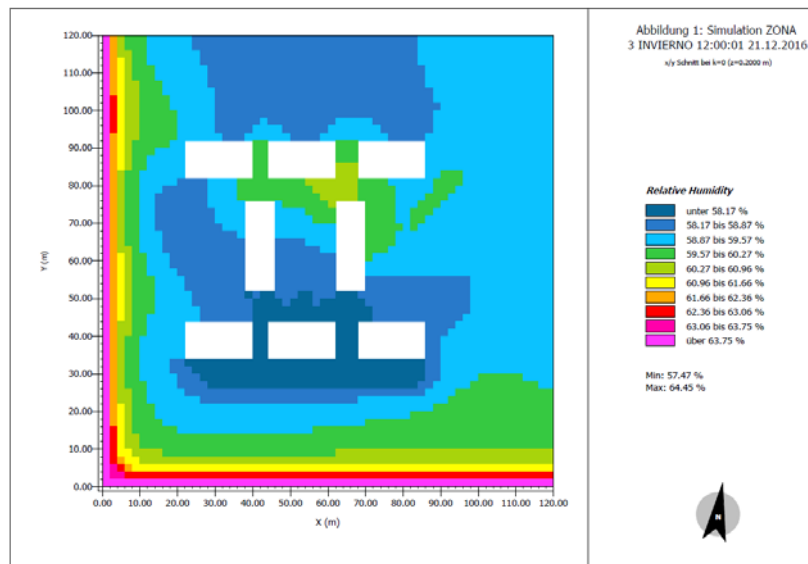


Ilustración 134: gráfica sobre la humedad relativa a las 12:00. Fuente propia.

#### 4. Radiación solar directa

Las gráficas que nos aportan los datos sobre la radiación solar directa nos aportan los datos sobre los W/m<sup>2</sup> que recibe la zona 2 en función de la hora. La radiación solar directa que recibe esta zona sobre todo se encuentra entre las 10:00 y las 16:00 horas.

Llegando a medio día a alcanzar los 400 W/m<sup>2</sup>. Aunque en general, en torno a los edificios no encontramos entre 40 – 90 W/m<sup>2</sup>.

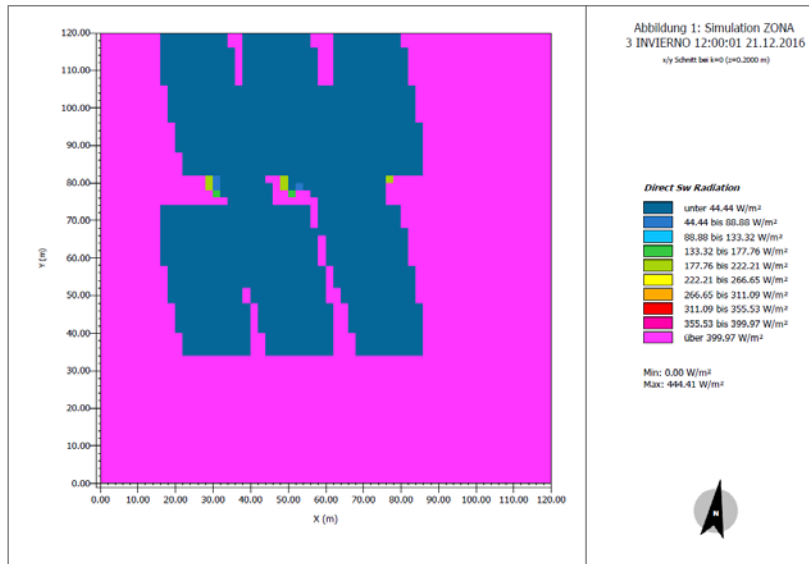


Ilustración 135: gráfica sobre la radiación directa a las 12:00. Fuente propia.

#### 5. Radiación solar difusa

En cuanto a la radiación difusa entre las 10:00 y las 16:00 no varía. Recibiendo las zonas exteriores y carreteras mayores cantidades que los edificios y las zonas centrales comunes, que se encuentran en niveles mínimos.

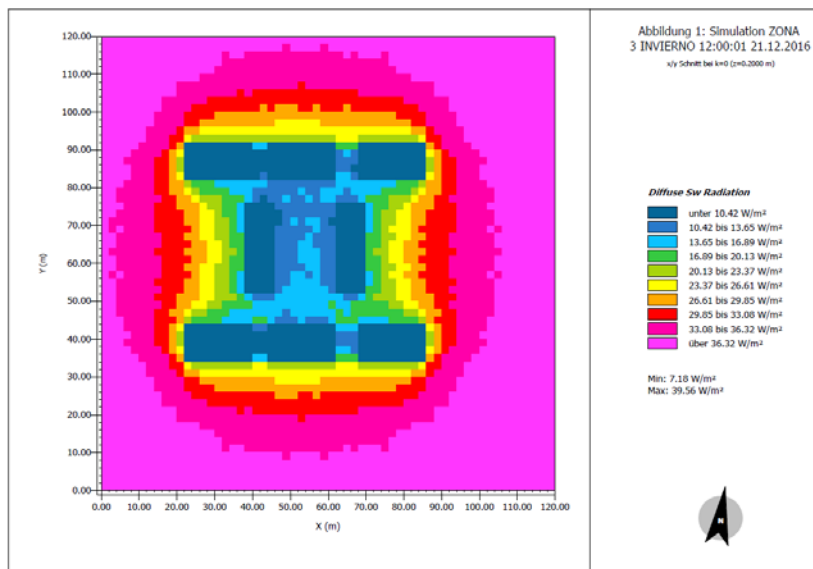


Ilustración 136: gráfica sobre la radiación difusa a las 12:00. Fuente propia.

## 6. Radiación solar reflejada

Mientras que la radiación solar reflejada se hace más intensa en las zonas centrales y zonas de paso entre edificios y paralelos a la fachada de estos, sin apenas variación en el transcurso de tiempo entre las 10:00 y las 00:00.

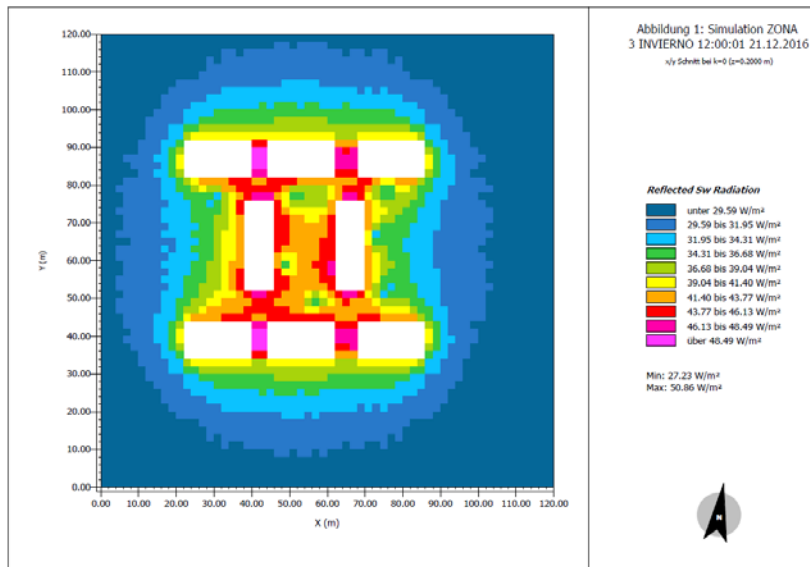


Ilustración 137: gráfica sobre la radiación reflejada a las 12:00. Fuente propia.

## 7. Contaminación

Los niveles de CO<sub>2</sub> que se encuentran varían en función de la hora, pero predominan los valores más elevados entre las primeras horas y últimas horas del día en las zonas centrales entre los edificios.

Las concentraciones más altas se encuentran en la zona central del barrio, coincidiendo con el aparcamiento interior. Llegando a los 360 ppm.

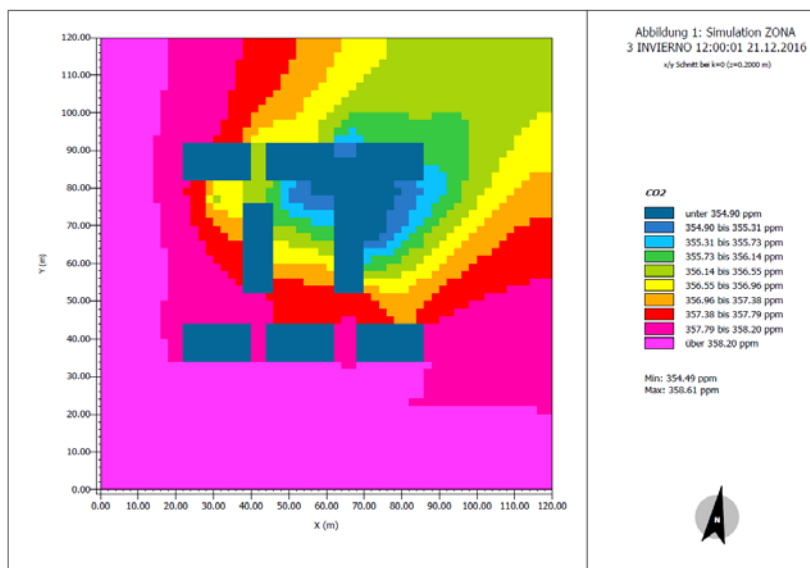


Ilustración 138: gráfica sobre las partículas contaminantes en el aire a las 12:00. Fuente propia.

## Verano

### 1. Velocidad del viento

La velocidad del viento en torno a los edificios y zonas centrales comunes se baja (aproximadamente 0,20 m/s), produciéndose zonas con velocidades más rápidas en determinados puntos como se puede ver en las gráficas. Produciéndose puntos donde alcanzan los 1,12 m/s.

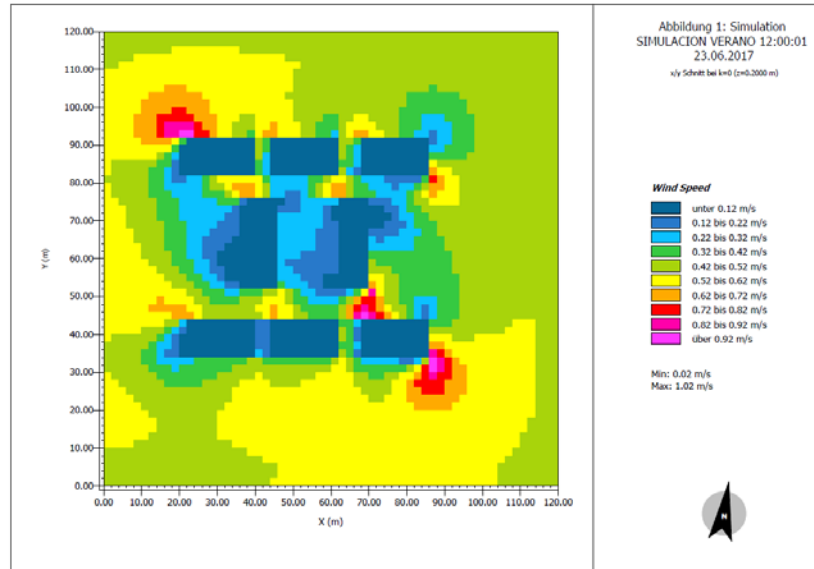


Ilustración 139: gráfica sobre la velocidad del aire a las 12:00. Fuente propia.

### 2. Temperatura del aire

La temperatura del aire varía a lo largo del día entre los 17°C por la mañana y los 26°C por la tarde. Se aprecia como a primeras horas las máximas temperaturas se encuentran en torno a los edificios y sus zonas centrales, mientras que luego son estos los que tienen menor temperatura con respecto a los viales, que se calientan y enfrían de manera rápida.

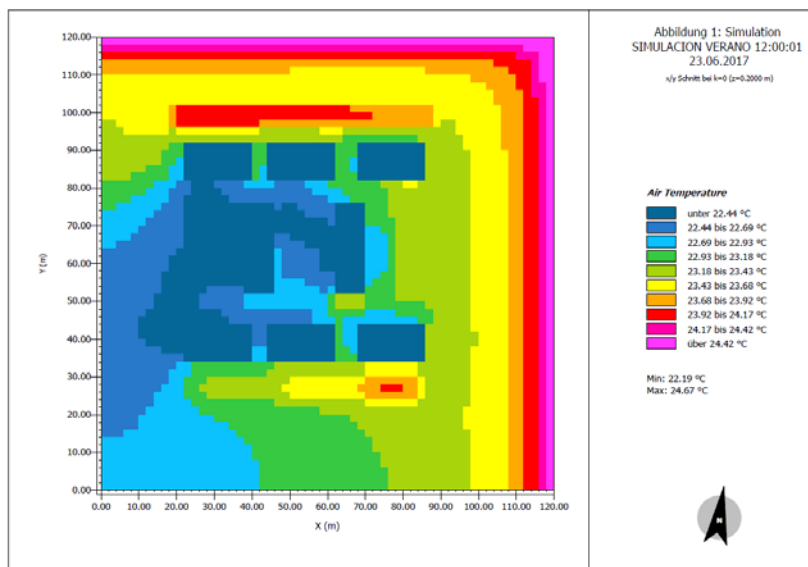


Ilustración 140: gráfica sobre la temperatura de aire las 12:00. Fuente propia.



### 3. Humedad relativa

También se aprecia su evolución y cambio, como en el caso de la temperatura del aire, variando entre los 45 y 72%. Teniendo las zonas centrales de uso común alrededor de los edificios menos variaciones de humedad debido a que poseen pequeños jardines que regulan estos parámetros.

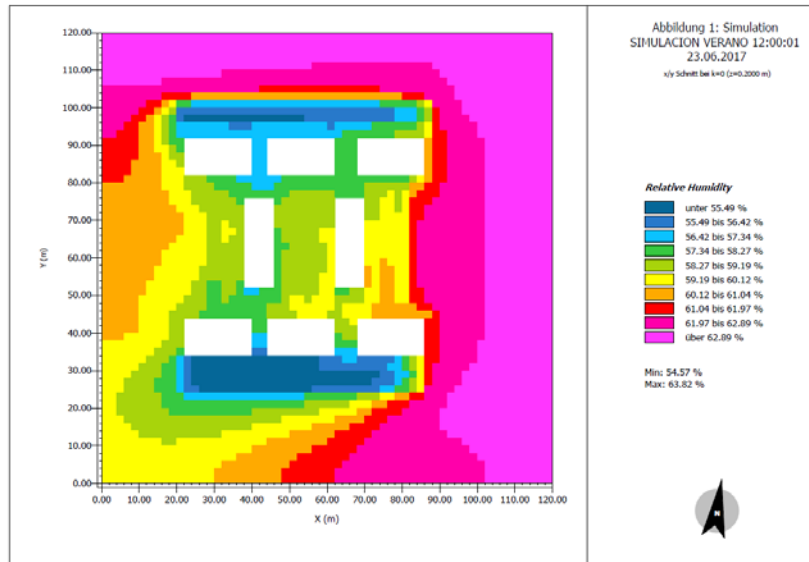


Ilustración 141: gráfica sobre la humedad relativa a las 12:00. Fuente propia.

### 4. Radiación directa

Durante la época de verano todos los edificios y sus fachadas van recibiendo radiación solar directa durante mucho más tiempo y sin apenas sombras arrojadas unos sobre otros llegando a alcanzar los 800 W/m<sup>2</sup>.

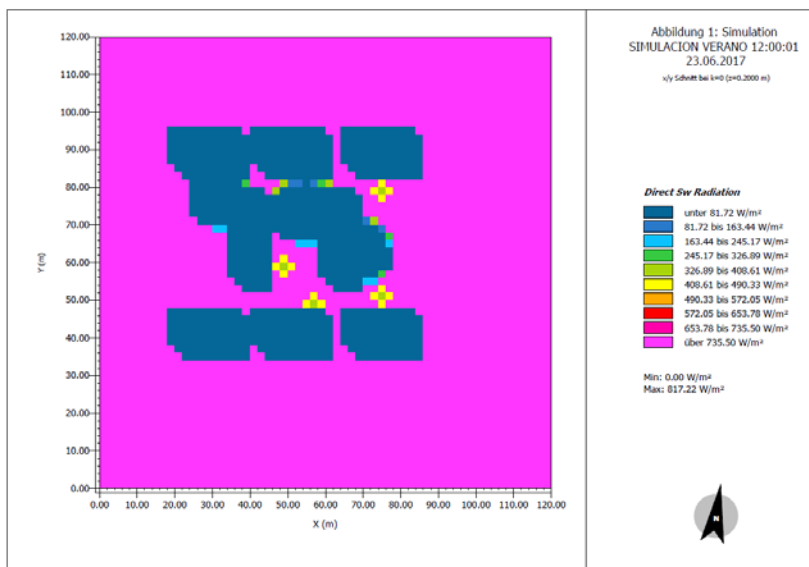


Ilustración 142: gráfica sobre la radiación directa a las 12:00. Fuente propia.

## 5. Radiación difusa

La radiación solar difusa se comporta de manera igual en verano que en invierno, variando la cantidad de  $\text{W/m}^2$  recibidos. Los edificios, así como las zonas centrales de uso común son las que menos radiación difusa reciben y no se produce variación a lo largo de las 24 horas estudiadas.

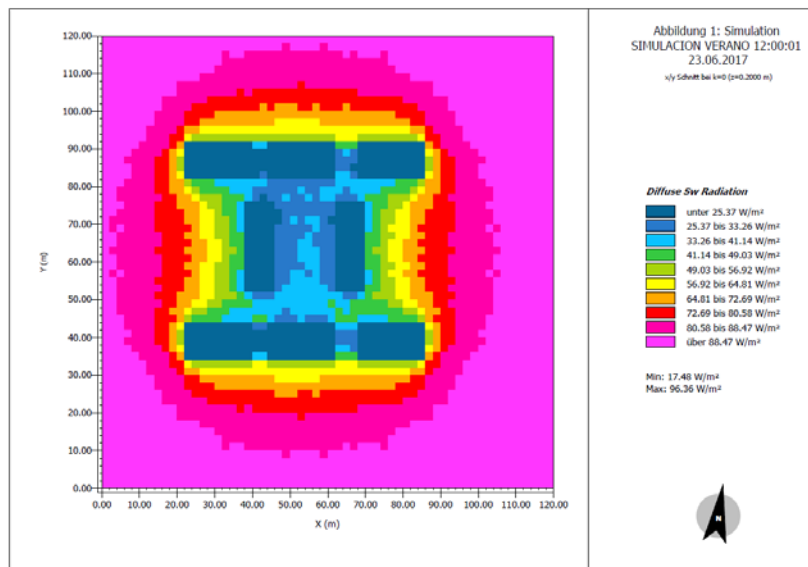


Ilustración 143: gráfica sobre la radiación difusa a las 12:00. Fuente propia.

## 6. Radiación reflejada

Aunque se produce variación a lo largo del día, se puede resumir como la mayoría de la radiación reflejada se concentra en las zonas centrales de uso común y en las fachada principal y posterior de las edificaciones.

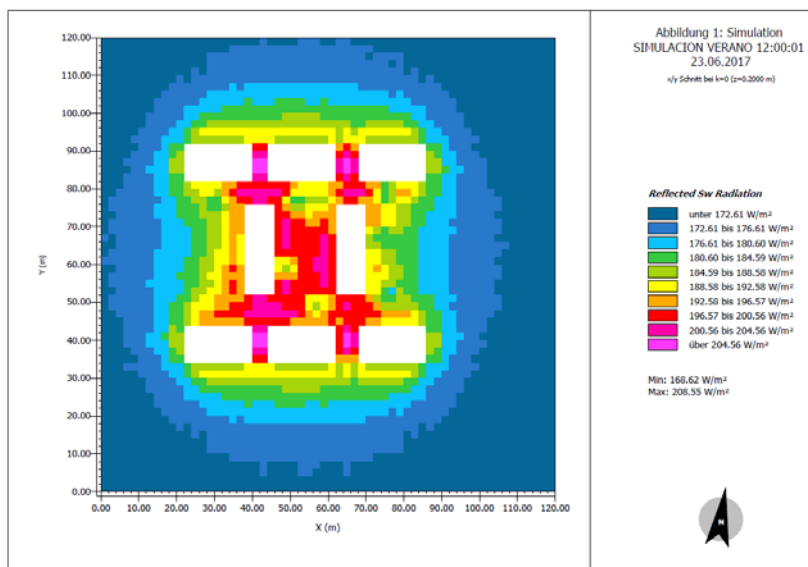


Ilustración 144: gráfica sobre la radiación reflejada a las 12:00. Fuente propia.

## 7. Contaminación

La contaminación atmosférica de CO<sub>2</sub> varía en función del tiempo, pudiendo simplificar las gráficas sabiendo que en torno a los edificios y zonas comunes centrales hay una concentración de aproximadamente 360 ppm.

Si comparamos la concentración de la contaminación en invierno y en verano en esta zona nos damos cuenta de que varía en función de la dirección de los vientos dominantes, focalizándose en verano en la dirección Suroeste.

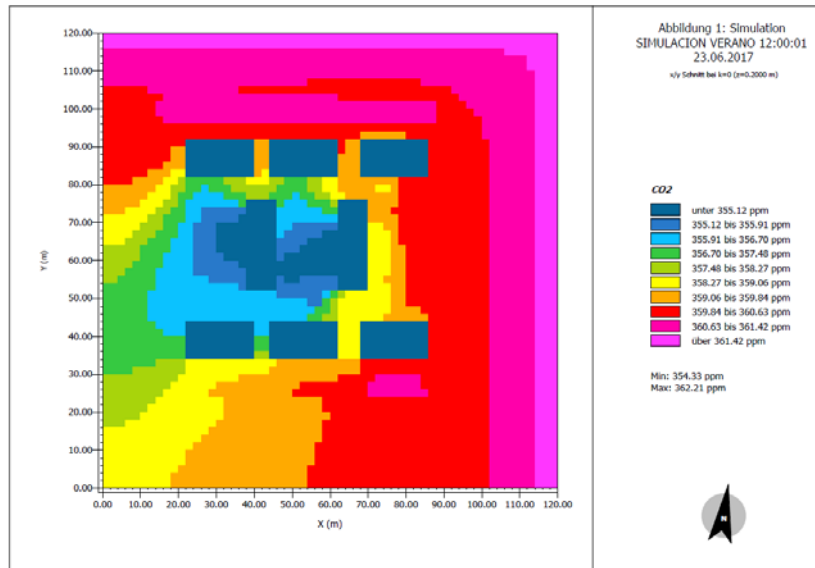


Ilustración 145: gráfica sobre las partículas contaminantes en el aire a las 12:00. Fuente propia.

## CONCLUSIONES DE LA SIMULACIÓN

Podemos decir que, aunque las tres zonas tengan diferentes orientaciones al final el comportamiento de la simulación es muy parecido pudiendo hablar de este en conjunto.

El viento es generalmente uniforme, habiendo puntos donde aumenta la velocidad pero que no comprometen las condiciones de confort de los usuarios, tanto en invierno como en verano. Aumentado incluso en verano lo que permite reducir la sensación térmica.

Diferenciándose, estas dos estaciones analizadas, en que en una de ellas predominan los vientos del Suroeste (invierno) y en la otra del Noreste (verano).

En cuanto a la temperatura del aire, al encontrarse el barrio con pequeños espacios verdes, estos influyen a conservar más o menos constante y regular térmicamente. Viéndose importantes diferencias de temperatura, aumentando, en la zona central que se destina a aparcamiento o los viales perimetrales a este.

La humedad relativa que encontramos en el ambiente se comporta de manera similar a la temperatura. Reduciéndose en la zona central destinada a aparcamiento y viales debido al material. Más o menos se mantiene constante a lo largo del año, aumentando en las estaciones intermedias (primavera y verano) que suelen ser más húmedas.

El programa nos ofrece datos sobre los tipos de radiaciones que puede recibir la zona: directa, difusa y reflejada.

En la directa si se aprecian diferencias considerables en cuanto a la estación de invierno que recibe poca cantidad de  $W/m^2$  debido a las sombras arrojadas entre los edificios, mientras que en el verano nos encontramos con grandes cantidades a lo largo del día. Esta diferencia se debe al ángulo de inclinación terrestre.

Radiación solar difusa, no se aprecian prácticamente diferencias entre verano e invierno y menos a lo largo de las 24 horas de simulación. Siendo ésta muy pequeña.

Por último, la radiación solar reflejada, sí que tiene relevancia en esta simulación ya que, tanto en invierno como en verano, se concentra en el perímetro de los edificios y zonas comunes céntricas. Aumentando la cantidad de energía recibida.

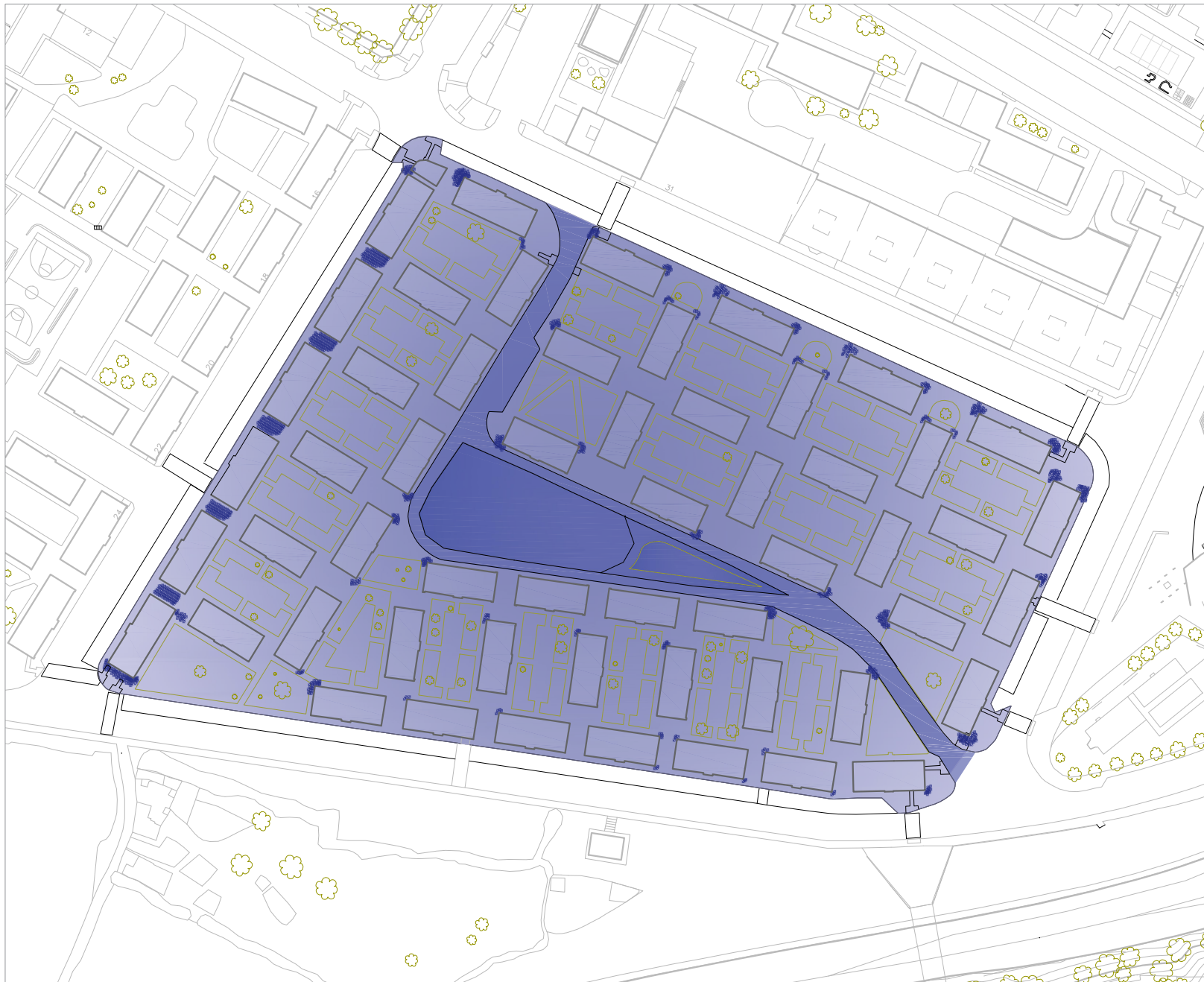
El último parámetro de estudio sobre el que nos aporta datos la simulación realizada es la contaminación. Es importante tenerla en cuenta ya que la comarca de Avilés cuenta con grandes industrial y se caracteriza por ello. Las concentraciones de partículas aumentan en aquellas zonas donde las velocidades del viento disminuyen o no es predominante, así como en la zona del aparcamiento donde hay carencia de elementos vegetales.

### HIPÓTESIS DE BARRIO COMPLETO

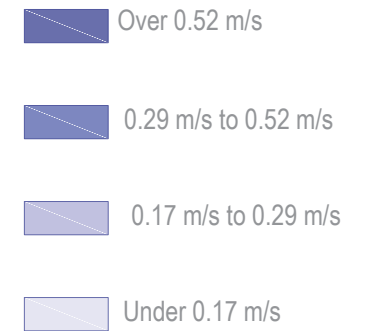
A partir de las simulaciones realizadas, que permiten analizar el barrio según las tres zonas en las que se ha dividido, se genera una serie de hipótesis de los parámetros estudiados y cómo influyen estos dependiendo de la estación en la que nos encontremos (invierno o verano).

Esto permitirá tener una visión global para tomar las medidas oportunas y mejorar la situación actual. Teniendo en cuenta las necesidades de accesibilidad a las viviendas y la mejora de la eficiencia energética.

A continuación, se presentan una serie de gráficos que pretenden explicar de manera visual lo anterior expuesto:



## WIND SPEED IN WINTER



## ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS

Caso de estudio: Edificación en la Villa de Avilés

Master Tecnologías de la Edificación Sostenible

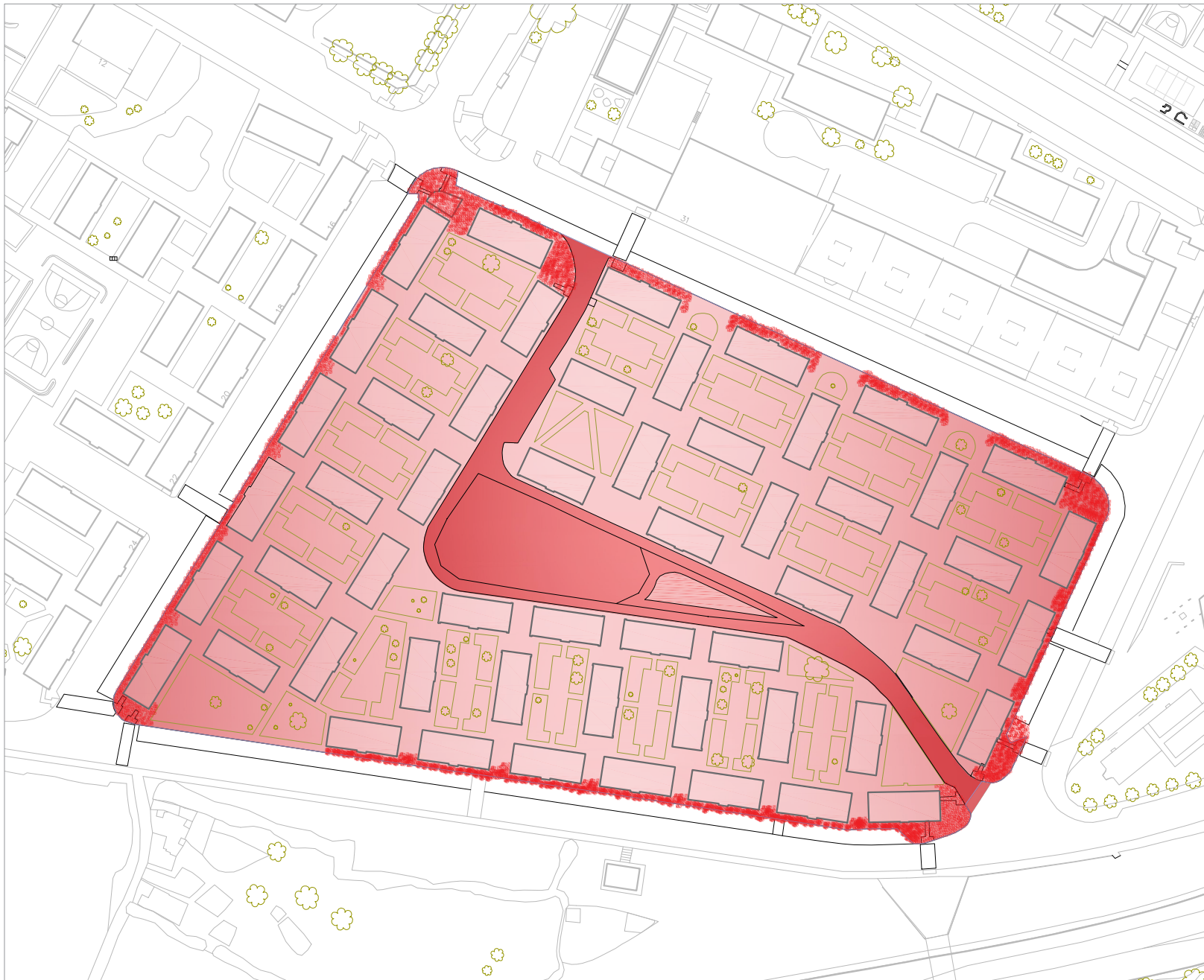
Tutor: D.Santiago Pintos Pena

Alumna: Inés Rodríguez Marqués

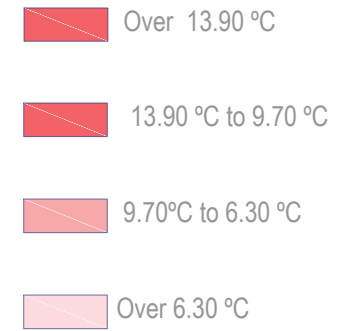
H1

ESCALA: 1:400





TEMPERATURE AT SURFACE IN WINTER



## ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS

Caso de estudio: Edificación en la Villa de Avilés

Master Tecnologías de la Edificación Sostenible

Tutor: D.Santiago Pintos Pena

Alumna: Inés Rodríguez Marqués

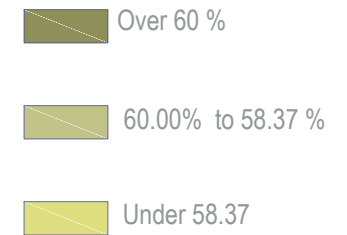
H2 ESCALA: 1:400







## HUMIDITY IN WINTER



### ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS

Caso de estudio: Edificación en la Villa de Avilés

Master Tecnologías de la Edificación Sostenible

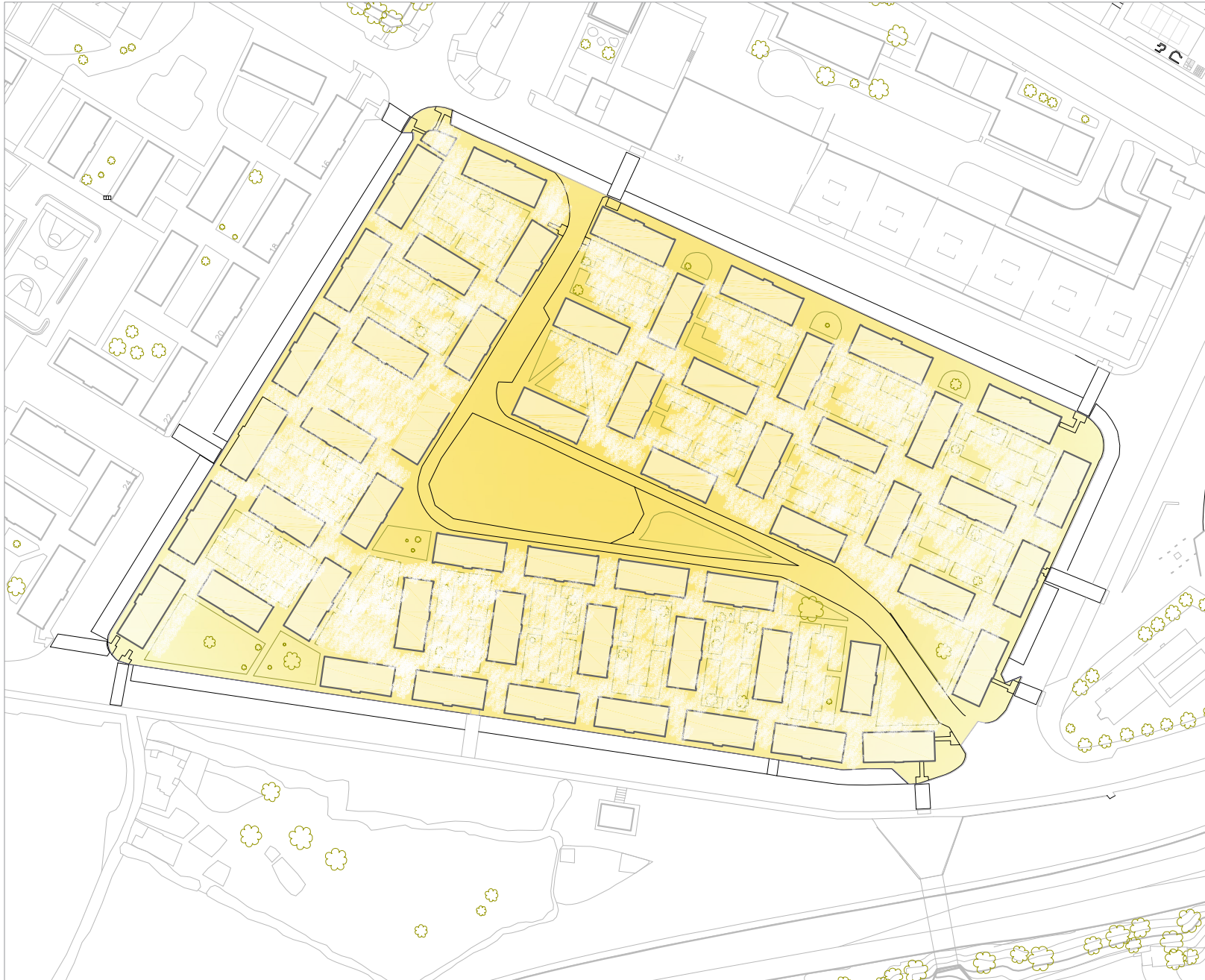
Tutor: D.Santiago Pintos Pena

Alumna: Inés Rodríguez Marqués

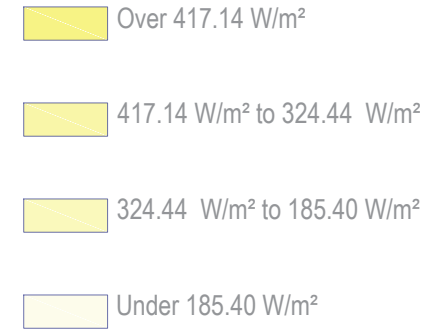
H3

ESCALA: 1:400





## DIRECT RADIATION IN WINTER



### ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS

Caso de estudio: Edificación en la Villa de Avilés

Master Tecnologías de la Edificación Sostenible

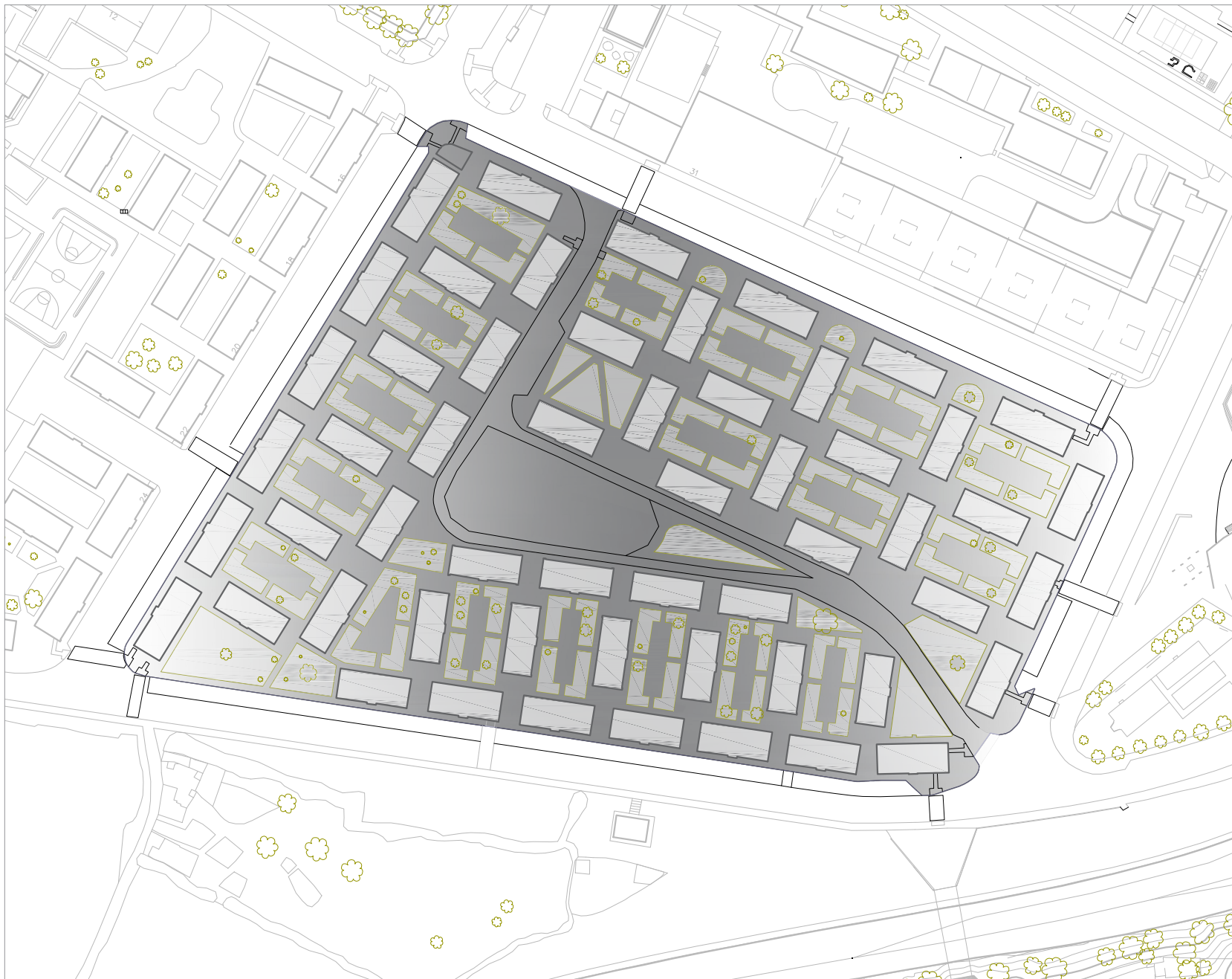
Tutor: D.Santiago Pintos Pena

Alumna: Inés Rodríguez Marqués

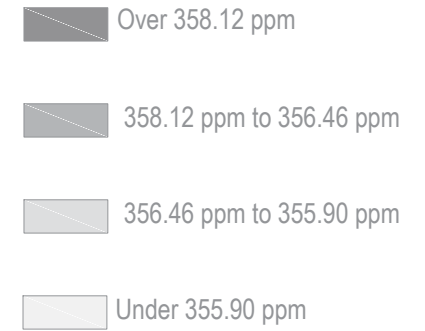
H4

ESCALA: 1:400





## CONTAMINATION IN WINTER



## ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS

Caso de estudio: Edificación en la Villa de Avilés

Master Tecnologías de la Edificación Sostenible

Tutor: D.Santiago Pintos Pena

Alumna: Inés Rodríguez Marqués

H5

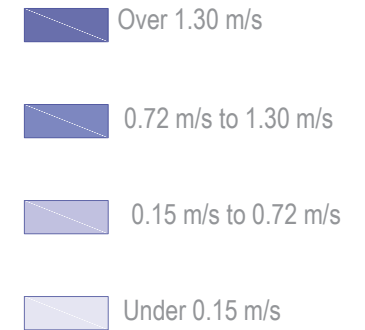
ESCALA: 1:400







## WIND SPEED IN SUMMER



## ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS

Caso de estudio: Edificación en la Villa de Avilés

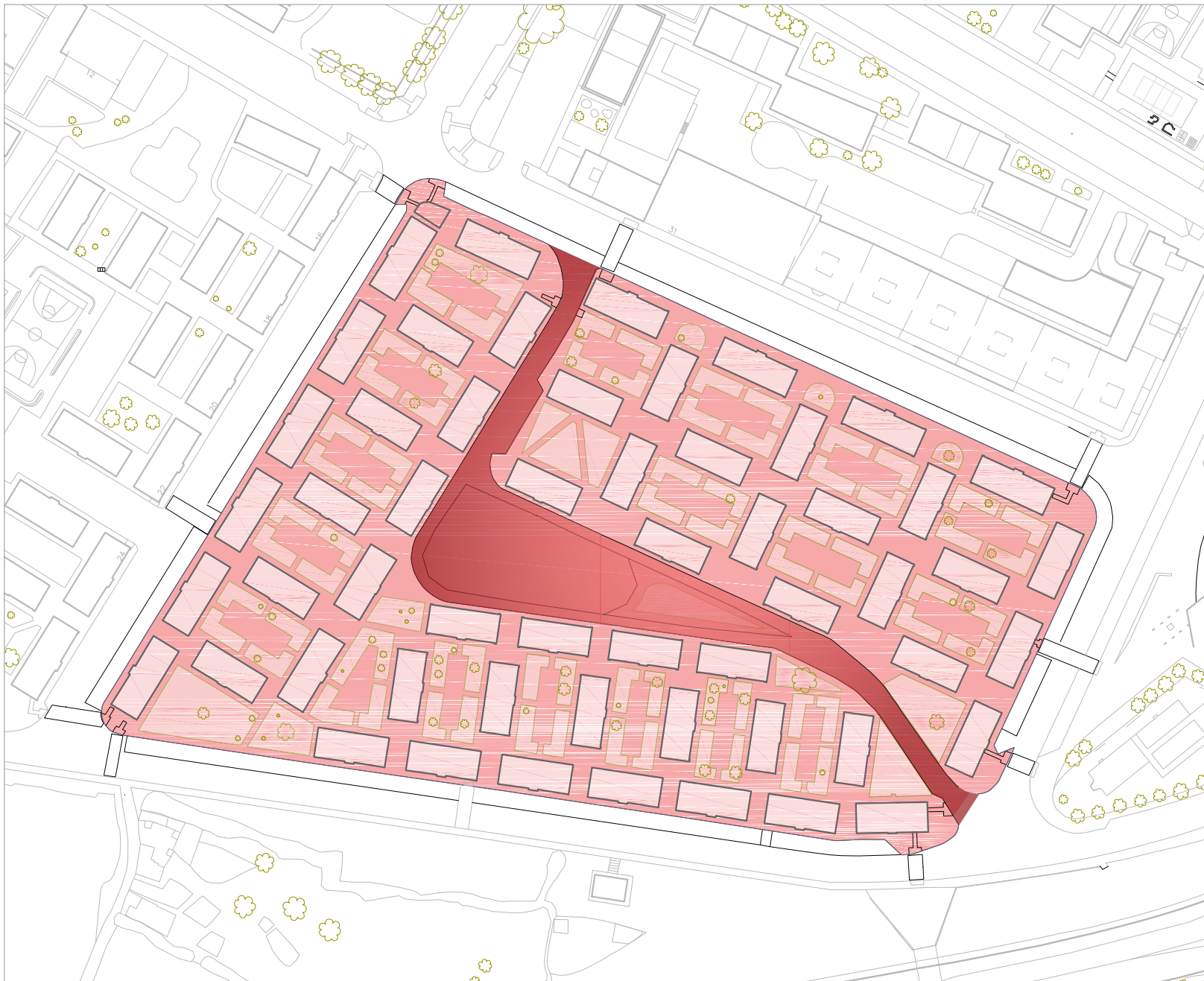
Master Tecnologías de la Edificación Sostenible

Tutor: D.Santiago Pintos Pena

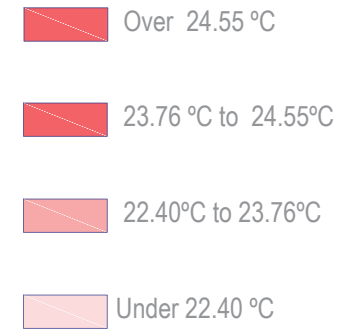
Alumna: Inés Rodríguez Marqués

H6 ESCALA: 1:400





TEMPERATURE AT SURFACE IN SUMMER



## ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS

Caso de estudio: Edificación en la Villa de Avilés

Master Tecnologías de la Edificación Sostenible

Tutor: D.Santiago Pintos Pena

Alumna: Inés Rodríguez Marqués

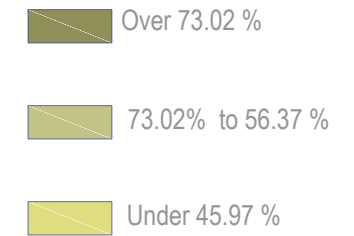
H7

ESCALA: 1:400





## HUMIDITY IN SUMMER



### ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS

Caso de estudio: Edificación en la Villa de Avilés

Master Tecnologías de la Edificación Sostenible

Tutor: D.Santiago Pintos Pena

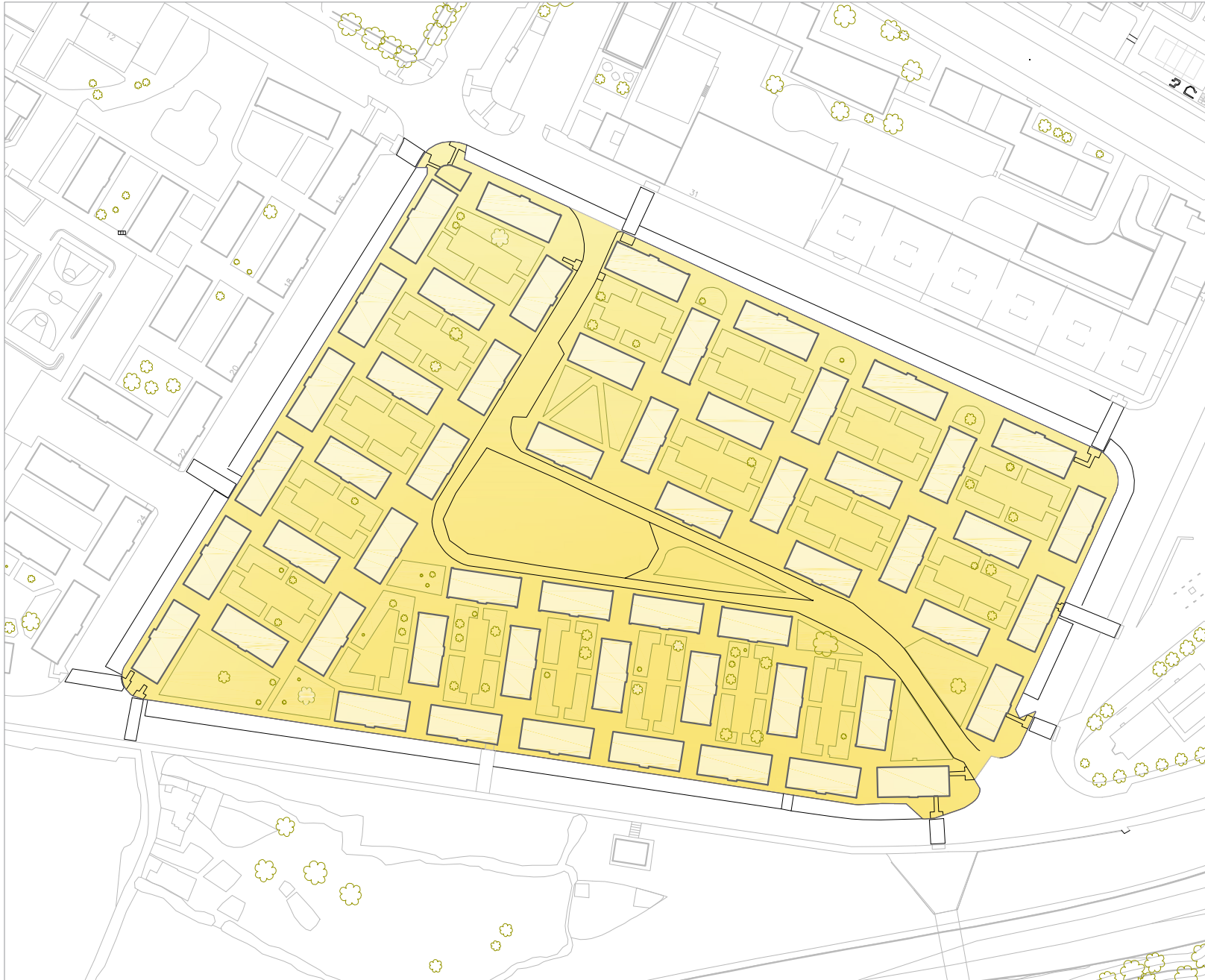
Alumna: Inés Rodríguez Marqués

H8

ESCALA: 1:400







## DIRECT RADIATION IN WINTER



### ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS

Caso de estudio: Edificación en la Villa de Avilés

Master Tecnologías de la Edificación Sostenible

Tutor: D.Santiago Pintos Pena

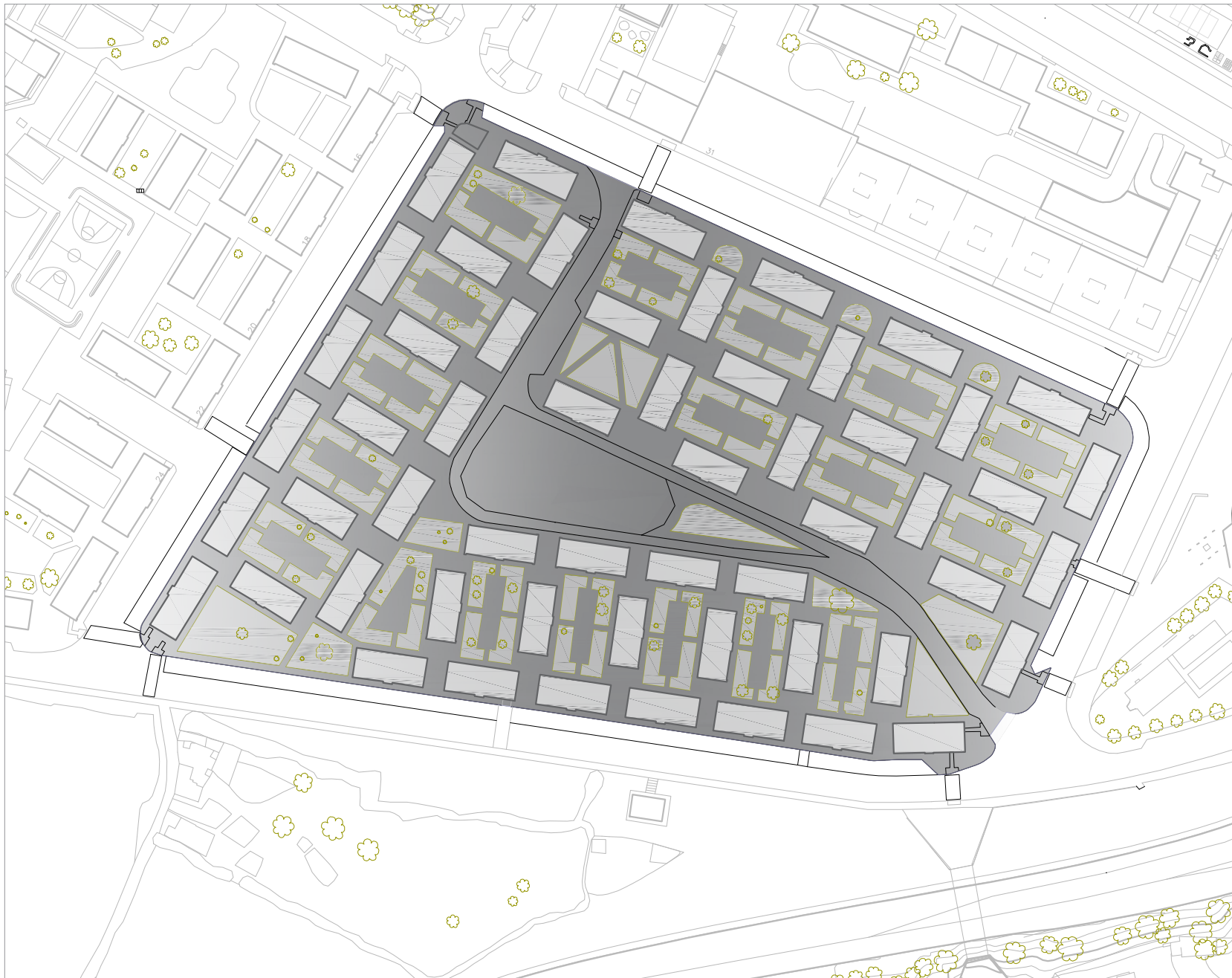
Alumna: Inés Rodríguez Marqués

H9

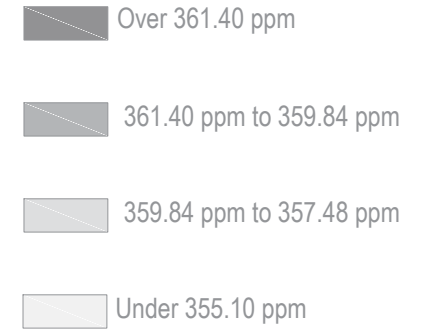
ESCALA: 1:400







## CONTAMINATION IN SUMMER



## ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS

Caso de estudio: Edificación en la Villa de Avilés

Master Tecnologías de la Edificación Sostenible

Tutor: D.Santiago Pintos Pena

Alumna: Inés Rodríguez Marqués

H10 ESCALA: 1:400



## CONCLUSIONES HIPÓTESIS

Podemos decir lo siguiente:

El viento es generalmente uniforme, habiendo punto donde aumenta la velocidad sin comprometer las condiciones de confort de los usuarios. En verano se aprecia el aumento de la velocidad, lo que permite reducir la sensación térmica. Como hemos dicho con anterioridad, en verano predominan los vientos Noreste, mientras que en invierno Suroeste.

La temperatura del aire, al encontrarse el barrio con pequeños espacios verdes, estos regulan y mantienen constante el este parámetro (no se aprecian grandes saltos térmicos, en general. Menos en la zona central que se destina a aparcamiento, ya que absorbe gran cantidad de energía y la cede rápidamente debido a sus características, se trata de un vial asfáltico.

La humedad relativa que encontramos en el ambiente se comporta de manera similar a la temperatura, reduciéndose en la zona central. En general, se mantiene constante a lo largo del año, aumentando en las estaciones intermedias (primavera y verano) que suelen ser más húmedas.

En radiación solar directa si se pueden apreciar diferencias en cuanto a la estaciones, ya que en invierno recibe poca cantidad de  $W/m^2$ , debido a las sombras arrojadas entre los edificios, grado de incidencia de los rayos de sol y menor cantidad de horas solares. En verano, sin embargo, el barrio recibe gran cantidad a lo largo del día.

Por último, la contaminación, característica de la comarca de Avilés, debido a la gran cantidad de industrias que se asientan en ella. Se observan concentraciones de partículas que aumentan en aquellas zonas donde la velocidad del viento disminuye o no es predominante, así como en la zona del aparcamiento donde hay carencia de elementos vegetales.

## ESTUDIO DE PROPUESTAS

Una vez realizadas las simulaciones, mediante la herramienta ENVI-MET, y haber generado una serie de hipótesis sobre que ocurre en el barrio estudiándolo como un conjunto, se proyecta una propuesta que permite solventar los siguientes problemas:

Actuaciones que se pretendían realizar, antes de haber realizado el presente estudio:

1. Solucionar los problemas de accesibilidad a las viviendas.
2. Regeneración del barrio.
3. Mejora de la eficiencia global.
4. Aumentar la eficiencia energética de las viviendas.

Una vez realizado el estudio, se observa que los problemas son los siguientes:

1. Accesibilidad desde el exterior al interior de las viviendas: se trata de edificios antiguos, que no disponen de espacio interior común para poder mejorar este requisito. Por lo tanto, la solución pasaría por la colocación de un ascensor por el exterior, que de accesibilidad a las plantas superiores y una rampa exterior para aquellas viviendas que se encuentren en planta baja.
2. El espacio central, donde antiguamente había una edificación con uso comercial "El Mercao", actualmente destinada como aparcamiento: se observan grandes concentraciones de calor en verano y un aumento de la concentración de partículas contaminantes. Pasaría a transformarse en una zona verde de uso común.

## PROPUESTA REGENERACIÓN DEL BARRIO

La propuesta global para la regeneración del barrio y cumplir objetivos / resolver la problemática encontrada es la siguiente:

1. Mantener los espacios centrales ajardinados.
2. Colocar en el centro de cada espacio interior un ascensor que permita por medio de pasarelas que comuniquen con cada bloque una mejora, sustancial, de la accesibilidad. Que a su vez permita, reducir costes (colocando 25 ascensores frente a los 55 planteado en la primera propuesta) ya que cada ascensor daría servicio a tres bloques, ahorrando a su vez en el mantenimiento de la instalación.
3. Terrazas exteriores y pasarelas con una estructura totalmente independiente a la del edificio, que permite aumentar el espacio de las viviendas, comunicarlas con el exterior y proporcionar accesibilidad.
4. Área central, reconvertir este espacio y transformarlo en un parque. Esto estabilizará las temperaturas, humedad, reducirá la contaminación concentrada en esta zona y sirviendo también como una zona de sociabilización y disfrute de la comunidad.

Este espacio se compone de las siguientes áreas:

- Zona peatonal: se eliminan los accesos rodados y los aparcamientos, dejando un área por la que pueden circular vehículos en determinadas ocasiones para acceder a las viviendas (como pueden ser los equipos de bomberos, sanitarios, etc).
- Zona verde: se tratará de un parque con área de recreo. Las especies vegetales de esta zona serán autóctonas y principalmente de hoja caduca, debido a que en invierno no arrojarían sobras a las edificaciones colindantes, mientras que en verano crearían sobras y brisas que proporcionarían una mejora en la sensación de confort de los usuarios del barrio.

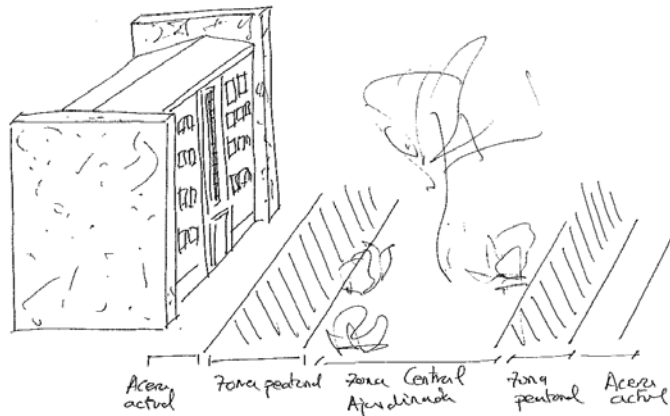


Ilustración 146: croquis a mano alzada de la zona central del barrio. Fuente: autor.



## PROPUESTA PRIMERA (AYUNTAMIENTO DE AVILÉS)

1. CENTRALES DE BIOMASA :  
PARA DAR SOPORTE ENERGÉTICO A  
LAS VIVIENDAS DEL BARRIO EN  
CUANTO A ACS Y CALEFACCIÓN.
2. APARATOS ELEVADORES :  
PARA MEJORAR LAS CONDICIONES  
DE ACCESIBILIDAD ACTUAL DE CADA  
UNA DE LAS VIVIENDAS

## ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS Caso de estudio: Edificación en la Villa de Avilés

Master Tecnologías de la Edificación Sostenible

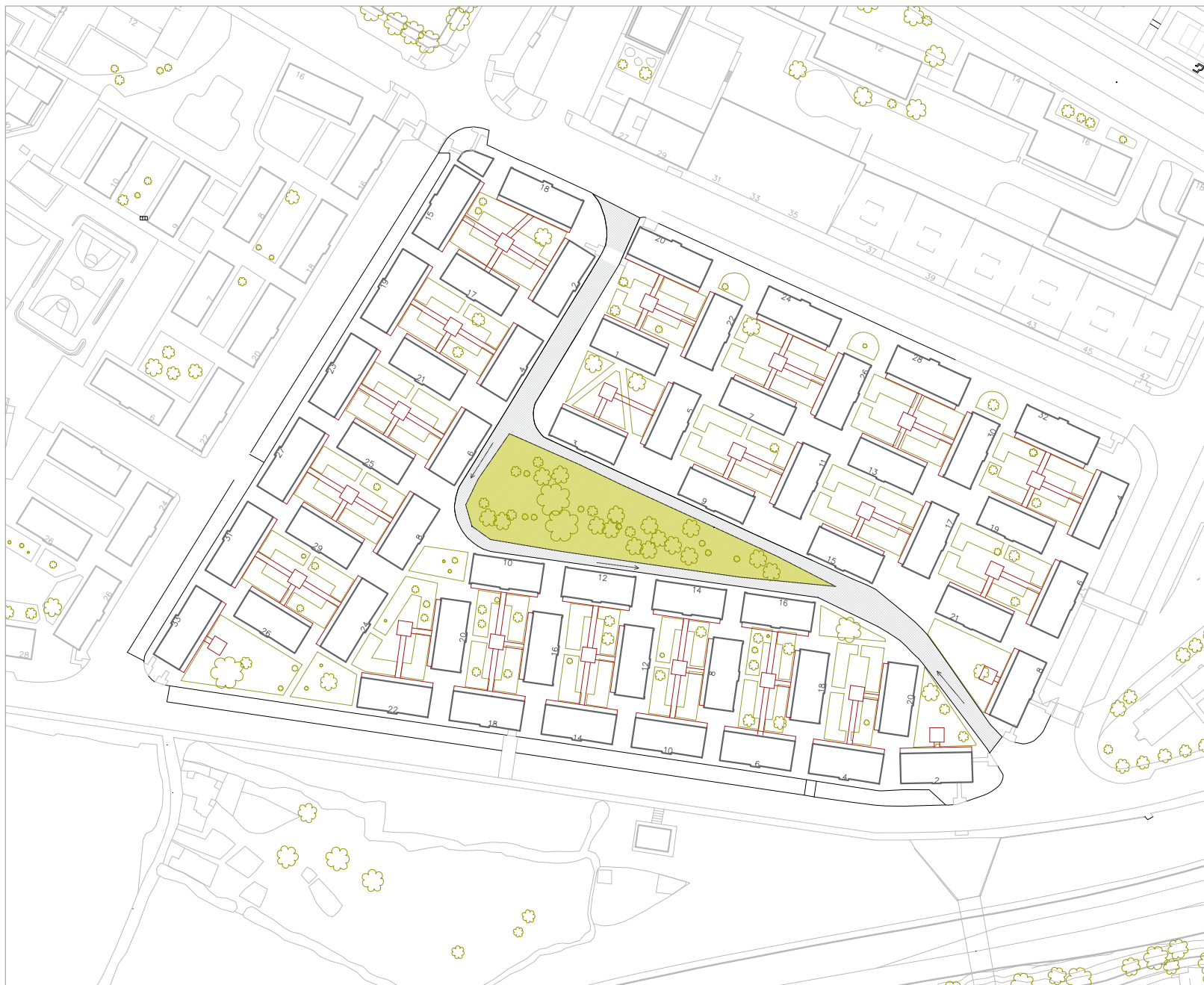
Tutor: D.Santiago Pintos Pena

Alumna: Inés Rodríguez Marqués

PA1 ESCALA: 1:400



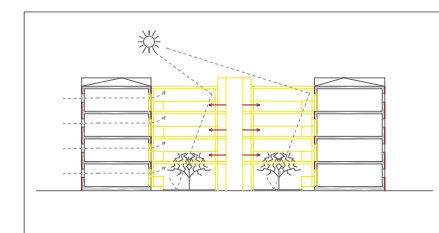




## PROPUESTA DE REGENERACIÓN DEL BARRIO:

### ACTUACIONES:

1. CONSERVACIÓN DE LAS ZONAS VERDES EN LAS PLAZAS INTERIORES.
2. ELIMINACIÓN DEL ASFALTO DE LA ZONA CENTRAL PARA CREAR UN GRAN ESPACIO VERDE.
3. ELIMINACIÓN DE LA CARRETERA Y PARA GENERAL CALLES PEATONALES.
4. MEJORA DE LA ACCESIBILIDAD MEDIANTE LA COLOCACIÓN DE ASCENSORES.
5. AMPLIACIÓN DE LA SUPERFICIE DE LAS VIVIENDAS MEDIANTE TERRAZAS EXTERIORES.



## ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS

### Caso de estudio: Edificación en la Villa de Avilés

Master Tecnologías de la Edificación Sostenible

Tutor: D.Santiago Pintos Pena

Alumna: Inés Rodríguez Marqués

P1 ESCALA: 1:400



1. MINIZAR LA PERDIDA DE ENERGÍA A TRAVÉS DE LA PIEL DEL EDIFICIO

2. OPTIMIZAR LA VENTILACIÓN NATURAL CRUZADA

8. AUMENTO DE LA SUPERFICIE DE LAS VIVIENDAS MEDIANTE TERRAZAS EXTERIORES

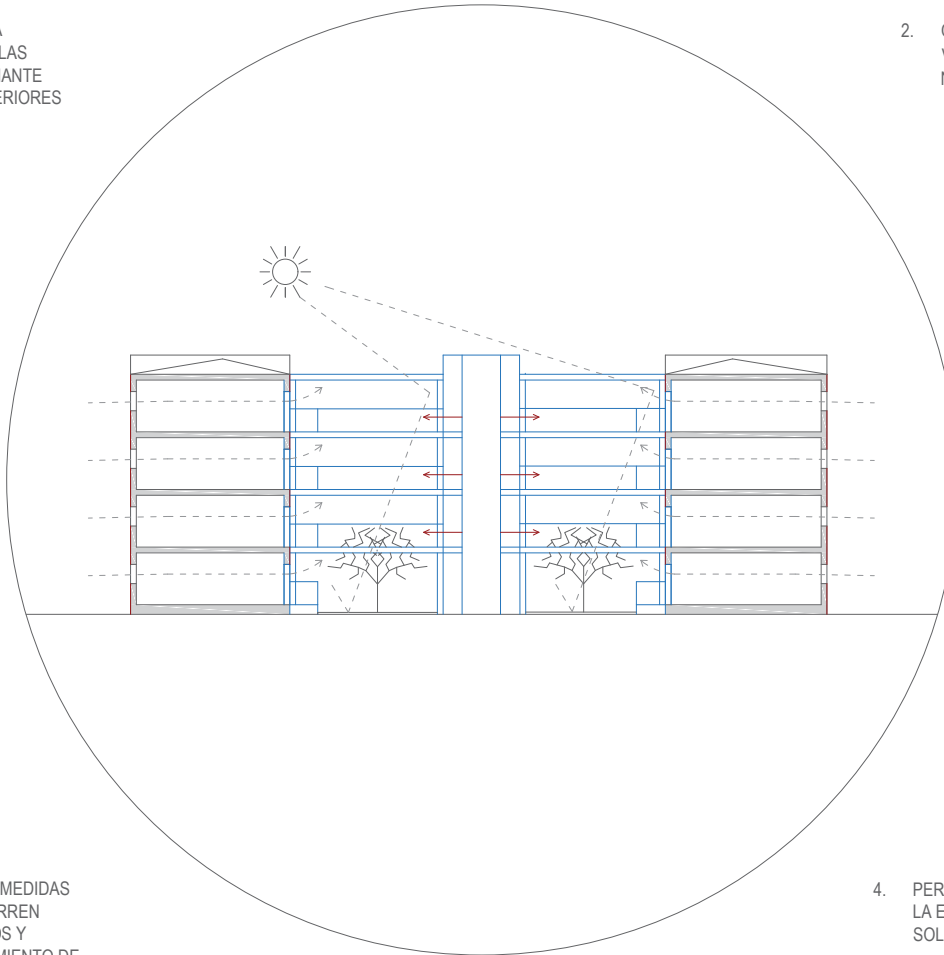
7. AUMENTO DE LAS ZONAS VERDES Y RELACIÓN CON EL ENTORNO

3. AYUDAR A LA PROTECCIÓN SOLAR EN VERANO

6. TOMA DE MEDIDAS QUE AHORREN RECURSOS Y MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES

4. PERMITIR Y AUMENTAR LA ENTRADA DE LUZ SOLAR NATURAL

5. MEJORAR LA ACCESIBILIDAD A LAS VIVIENDAS A TRAVÉS DE UN ASCENSOR CENTRAL



## ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS

Caso de estudio: Edificación en la Villa de Avilés

Master Tecnologías de la Edificación Sostenible

Tutor: D.Santiago Pintos Pena

Alumna: Inés Rodríguez Marqués

P2

ESCALA: -





## PROPUESTA BLOQUE

En este caso, y con influencia de lo anteriormente estudiado, así como la propuesta de regeneración del barrio, se pretende dar otra solución más concentrada centrándonos en un bloque de viviendas (ya que todos disponen de las mismas características).

Al tratarse de edificaciones reales, ciertos criterios de la arquitectura pasiva no son de posible aplicación ya que no podemos adaptar todo el diseño, pero sí escoger aquellos (como se ha realizado en el análisis del ábaco psicométrico del archivo. epw) que permitan mejorar las condiciones de confort en el interior de las viviendas.

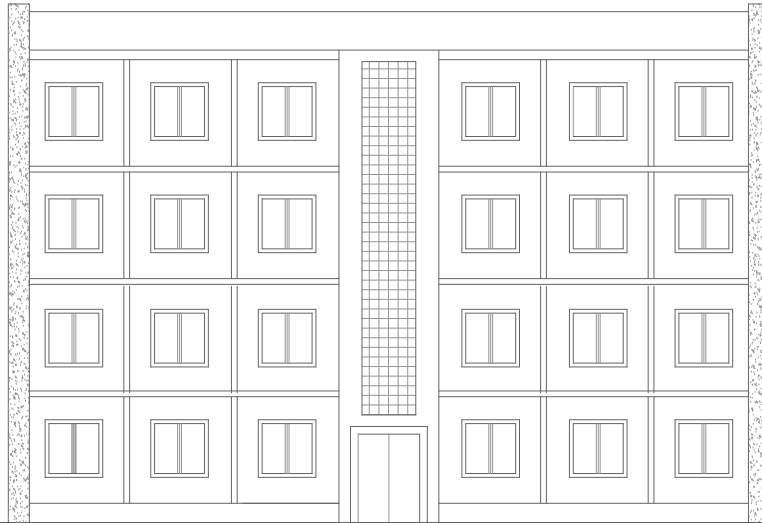
Las propuestas de mejora son las siguientes:

- Cambio de carpinterías actuales por oscilobatientes, que permiten una ventilación más controlada, con de doble hoja, cámara de aire y rotura de puente térmico. Ya que actualmente disponen, en general, de ventanas tipo correderas con vidrio simple. Se prevé un ahorro del consumo en aproximadamente un 20 %.
- Apertura de huecos en las fachadas que dispongan de la terraza. En la mayoría de los casos nos encontramos que estas fachadas tienen una orientación sureste o suroeste, permitiendo aumentar el tamaño de los huecos e introducir, a las viviendas, más radiación solar y luz natural.

En el caso de las orientaciones norte se mantendrán los huecos actuales y solamente se ampliará el hueco de acceso a vivienda (se tratará de una carpintería ciega) y el hueco que comunica del salón con la nueva terraza. Aunque se aumentan mínimamente los huecos en esta fachada, esto no supondrían una pérdida de energía ya que las carpinterías nuevas reducirían ese impacto, pero sí ayudando al aumento de la entrada de luz natural, aproximadamente un 25% más.

- Terrazas: estas generan un nuevo espacio en las viviendas, que permiten una conexión con el exterior e interacción. Permitiendo la entrada de radiación en invierno y reduciéndola en verano.
- Colocación de un aislamiento tipo SATE por el exterior de las fachadas: ya que aislar por el interior las viviendas no sería una buena solución debido al reducido espacio en ellas, mientras que si se considera por el exterior se eliminarían los puentes térmicos en cantos de forjados, los correspondiente a cajas de persianas y a su vez se reducen las molestias a los usuarios. Con un ahorro de consumo del 30% aproximadamente. Este aislamiento solamente se colocaría en la fachada principal y trasera, ya que las laterales cuentan con una fábrica de ladrillo y un muro de mampostería exterior, no necesitando ningún tipo de actuación.
- Ventilación natural cruzada: actualmente debido a la distribución de las viviendas pueden realizar una ventilación cruzada, por lo que no se toman medidas para su mejora.

## BLOQUE ACTUAL



## PROPUESTA



## PROPUESTA FACHADA PRINCIPAL:

### ACTUACIONES:

1. CAMBIO DE LAS CARPINTERÍAS ANTIGUAS POR OTRAS CON VIDRIO DOBLE Y ROTURA DE PUENTE TÉRMICO.
2. SE REALIZARÁ UN AISLAMIENTO POR EL EXTERIOR ELIMINANDO PUENTES TÉRMICOS.
3. LA VIDRIERA CENTRAL SE SUSTITUIRÁ POR VIDRIOS Y LAMAS QUE PERMITAN LA ENTRADA DE LUZ PERO REDUZCA LA ENTRADA DE CALOR DURANTE LOS MESES DE VERANO.
4. PARA PROTEGER LAS FACHADAS SUR DEL EXCESO DE RADIACIÓN SE COLOCARÁN ESPECIES AUTÓCTONAS DE HOJA CADUCA.

## ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS

Caso de estudio: Edificación en la Villa de Avilés

Master Tecnologías de la Edificación Sostenible

Tutor: D.Santiago Pintos Pena

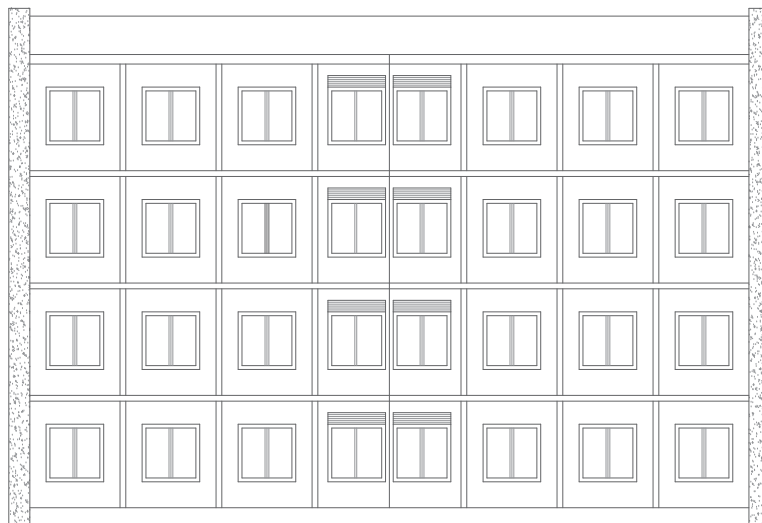
Alumna: Inés Rodríguez Marqués

P3

ESCALA: 1:50



BLOQUE ACTUAL



PROPUESTA FACHADA TRASERA,  
ORIENTACIONES SUR, SE Y SO.

ACTUACIONES:

1. CAMBIO DE LAS CARPINTERÍAS ANTIGUAS POR OTRAS CON VIDRIO DOBLE Y ROTURA DE PUENTE TÉRMICO.
2. SE AUMENTA EL TAMAÑO DE LOS HUECOS PARA PERMITIR LA MAYOR ENTRADA DE LUZ Y RADIACIÓN POSIBLE.
3. SE REALIZARÁ UN AISLAMIENTO POR EL EXTERIOR ELIMINANDO PUENTES TÉRMICOS.
4. LA TERRAZA EXTERIOR AUMENTA LOS M² DE LAS VIVIENDAS Y EN VERANO REDUCE LA ENTRADA DE RADIACIÓN.
5. LA PASARELA COMUNICA EL NÚCLEO CENTRAL ACCESIBLE CON CADA UNA DE LAS VIVIENDAS.

PROPUESTA



**ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS**  
Caso de estudio: Edificación en la Villa de Avilés

Master Tecnologías de la Edificación Sostenible

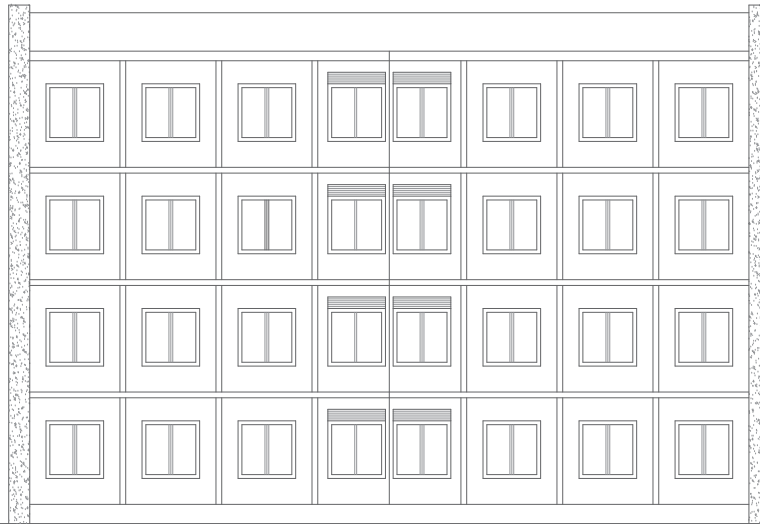
Tutor: D.Santiago Pintos Pena

Alumna: Inés Rodríguez Marqués

P4 ESCALA: 1:50



BLOQUE ACTUAL



PROPUESTA FACHADA TRASERA,  
ORIENTACIONES NORTE, NE Y NO.

ACTUACIONES:

1. CAMBIO DE LAS CARPINTERÍAS ANTIGUAS POR OTRAS CON VIDRIO DOBLE Y ROTURA DE PUENTE TÉRMICO.
2. SE MANTIENEN LAS DIMENSIONES DE LOS HUECOS, EXCEPTO UNO DE ELLOS QUE PERMITE INTERACTUAR CON LA TERRAZA EXTERIOR.
3. SE REALIZARÁ UN AISLAMIENTO POR EL EXTERIOR ELIMINANDO PUENTES TÉRMICOS.
4. TERRAZA EXTERIOR, AUMENTA LOS M<sup>2</sup> DE LA VIVIENDA, REDUCIENDO LA ENTRADA DE RADIACIÓN EN VERANO.
5. LA PASARELA COMUNICA EL NÚCLEO CENTRAL ACCESIBLE CON CADA UNA DE LAS VIVIENDAS.

PROPUESTA



**ARQUITECTURA PASIVA EN ASTURIAS**

Caso de estudio: Edificación en la Villa de Avilés

Master Tecnologías de la Edificación Sostenible

Tutor: D.Santiago Pintos Pena

Alumna: Inés Rodríguez Marqués

P5

ESCALA: 1:50



## VALORACIÓN ECONÓMICA

ESTADO ACTUAL				
Numero de viviendas antes de la intervención, conjunto de 55 bloques de 8 viviendas cada uno.	440			
DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS	PROYECTO BASE		PROPUESTA	
Viviendas conservadas sin intervención	440	55 bloques		
Viviendas transformadas - ampliadas			440	55 bloques
Espacios verdes ampliados	No		Si	
Aparcamiento	Si		Si	
BASE ESTIMADA DEL COSTE DE LAS OBRAS	PROYECTO BASE		PROPUESTA	
Regeneración del barrio	3.325.000,00 €		1.090.820,00 €	
Colocación de central de biomasa	2.500.000,00 €			
Comunicaciones verticales	825.000,00 €		330.000,00 €	
Reurbanización zona central - parque			59.570,00 €	
Pasarelas y terrazas exteriores			701.250,00 €	
Actuaciones en el bloque de viviendas			1.090.375,00 €	
Cambio de carpinterías			864.875,00 €	
Aislamiento por el exterior			225.500,00 €	
BALANCE COMPARADO	PROYECTO BASE		PROPUESTA	
Total	3.325.000,00 €		2.181.195,00 €	
Por vivienda	7.556,82 €		4.957,26 €	

La propuesta planteada permite:

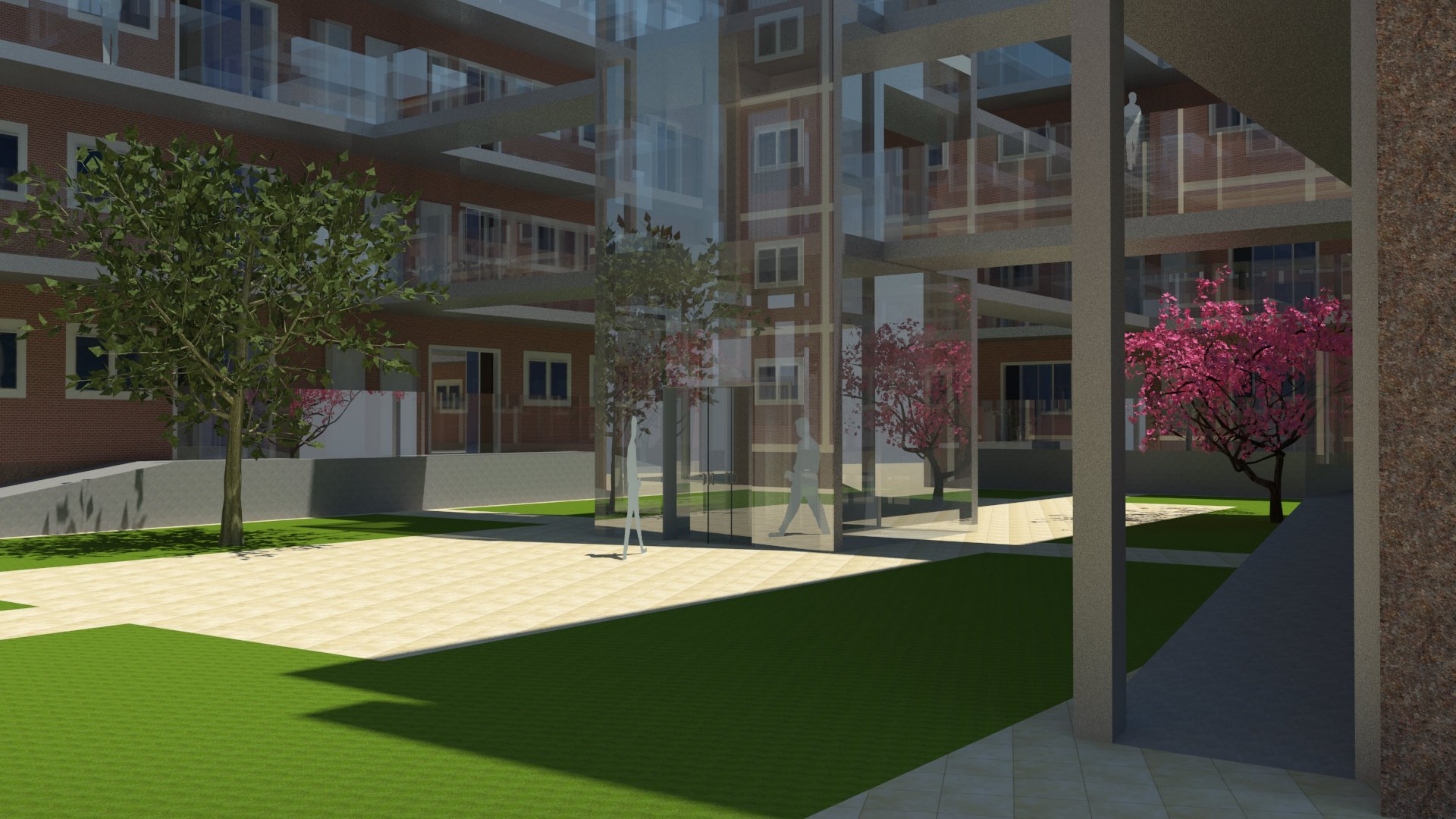
- Llevar a cabo una transformación, aumento de superficie y mejora de las 440 viviendas.
- Proporcionar a cada una de las viviendas un aumento de su superficie mediante las terrazas.
- Mejora de la accesibilidad por medio de comunicaciones verticales y rampas.
- Ahorrar 1.143.805 € en total en el coste de las obras.
- Reducción gastos por mantenimiento.
- Disminución de molestias a los usuarios de las molestias debido a las obras de reforma.

En la propuesta se ha tenido en cuenta que el barrio, actualmente, se encuentra habitado, es decir que las viviendas cuentan con usuarios, de manera que se pretende minimizar las molestias ocasionadas, permitiendo que estos puedan seguir realizando con normalidad sus actividades de usos cotidiano.

También las necesidades del barrio y las actuaciones a las que van destinadas los Fondos Europeos FEDER.

Por otro lado, destacar que se trata de un estudio académico e investigación, de manera que para llevar a cabo la propuesta de mejora debería realizarse un proyecto donde se detallan las especificaciones de materiales, estructuras y características oportunos. Así como los 3D realizados y el video se tratan de imágenes que ayudan a la comprensión.

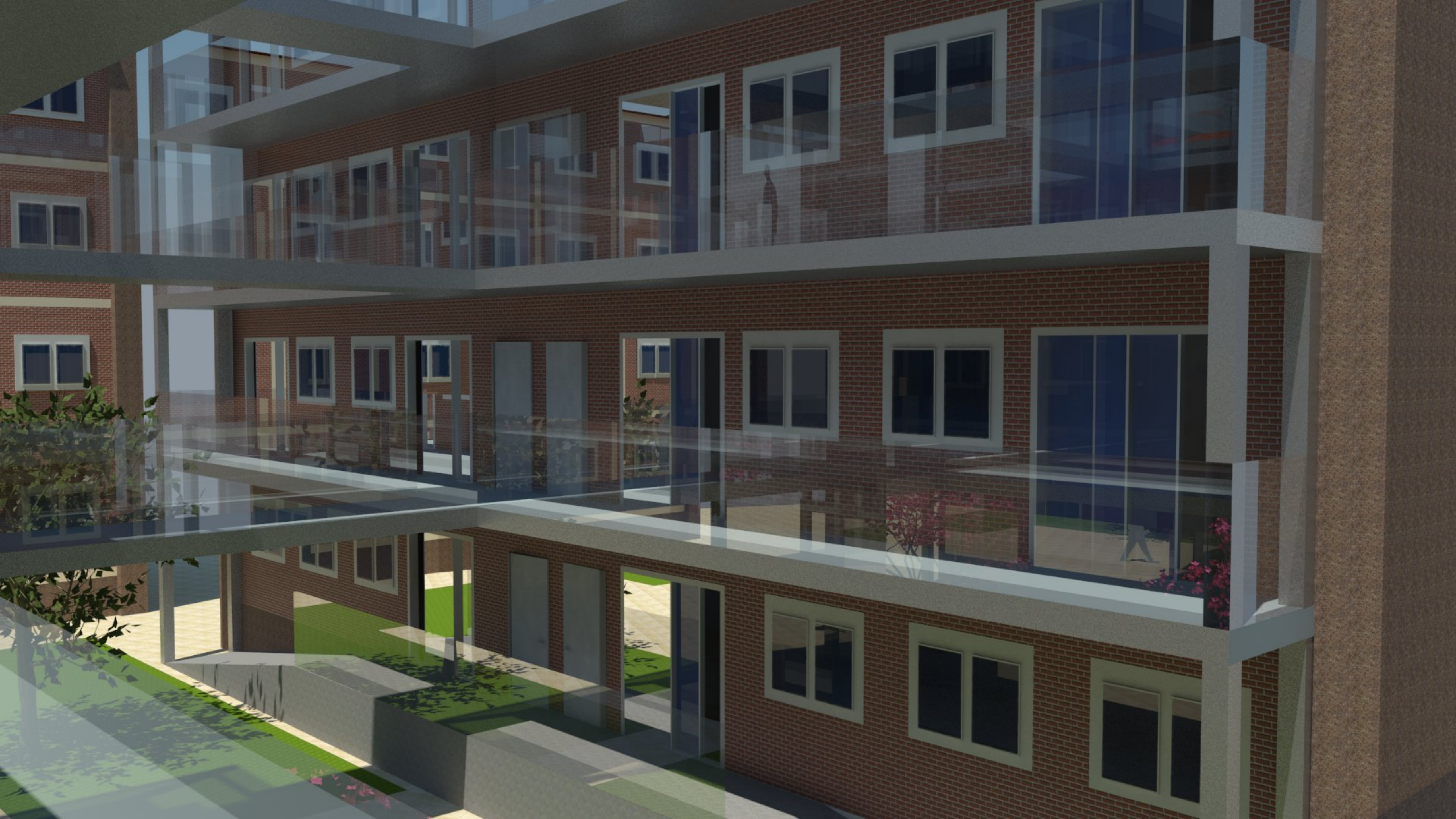








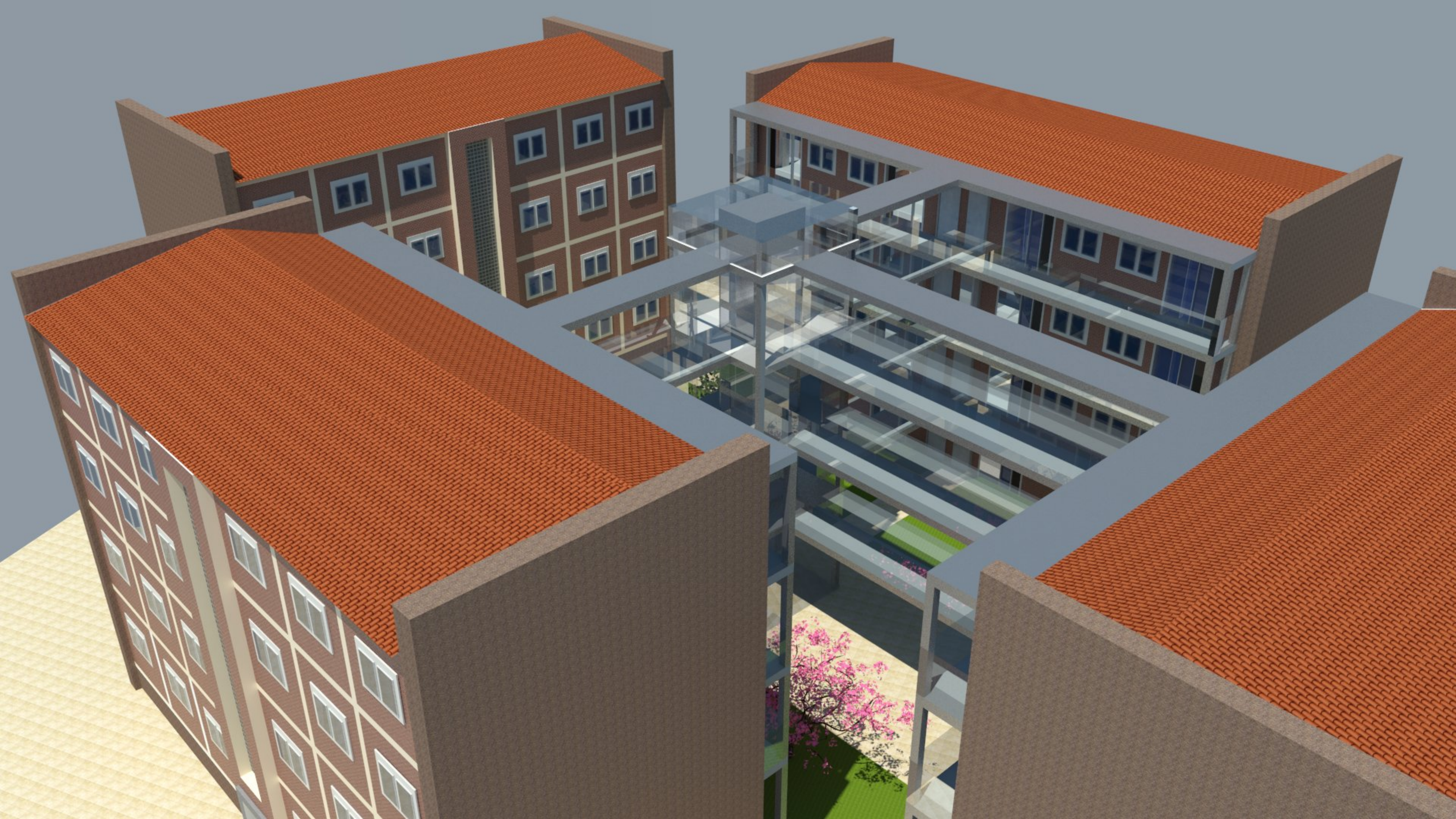






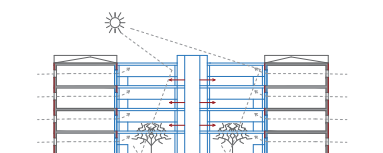








## CONCLUSIONES



## CONCLUSIONES FINALES

A través de la realización de este trabajo se ha aprendido a analizar los principios físicos en los que se basan los programas de simulación, como entender y comprender el funcionamiento del ábaco psicométrico, con el fin de discernir e interpretar los datos extraídos de los programas utilizados.

Paralelamente se ha realizado una investigación histórica y arquitectónica, conociendo aquellos métodos y técnicas constructivas utilizadas, tanto de manera global (estrategias pasivas) como particular (en la arquitectura vernácula en la Villa de Avilés), que pudiesen ser de real aplicación en el caso de estudio.

Destacando, dentro de esta búsqueda, toda aquella información relacionada con el barrio asignado; desde la necesidad de construcción en la época, la tipología, los materiales, como el contexto histórico. Datos muy importantes a tener en cuenta, ya que no se pretende eliminar ni borrar su pasado, sino rejuvenecerlo y conseguir proporcionar una adaptabilidad a las nuevas necesidades que actualmente demandan los usuarios y a las que van destinadas los fondos FEDER.

Citando de nuevo a Vassal, en el libro PLUS LA VIVIENDA COLECTIVA:

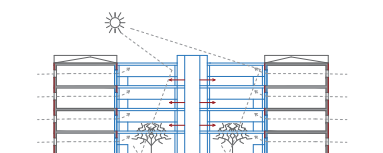
*"El contenido de una nueva actuación no es el de similar lo existente sino reanimarlo y emplear su potencial latente."*

*PLUS La vivienda colectiva*

Por último, como se puede apreciar en el estudio de propuestas, la toma de decisiones adecuadas incidirá de manera decisiva no solo en la economía, sino en los fondos que se pretenden destinar al barrio, para la mejora de la accesibilidad y sostenibilidad. Ya que, con pequeños cambios conseguiremos medidas de ahorro y eficiencia energética sustanciales en el patrimonio arquitectónico construido, aproximadamente de un 50 %, dando solución a la problemática existente expuesta en este trabajo.



## ASPECTOS FORMALES



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. Müller, E. (2002). In Consultora Kemiteknik C.A. (Ed.), *Termodinámica básica* (2º ed.). Venezuela: Publidisa SA.
- Acciona Infraestructuras, S. A. (Octubre 2014). In Impulso (Ed.), *Estudio ambiental estratégico modificación puntual del plan general de ordenación del concejo de avilés*. Avilés:
- Ergonomía Del Ambiente Térmico. Determinación Analítica e Interpretación Del Bienestar Térmico Mediante El Cálculo De Los Índices PMV y PPD y Los Criterios De Bienes Térmico Social, UNE EN ISO 7730 U.S.C. (Octubre 2006).
- Agustín Martín, D. (1995). *Apuntes de transmisión del calor* (2nd ed.). Madrid: Creative Commons.
- Alonso Ibáñez, M. R., Fernández García, A., Fernández Soto, M., Hernández Muñiz, M., & Villarino Samalea, G. (2013). In Grupo de Estudios Jurídico-Sociales Sobre Territorio y Desarrollo Sostenible (Ed.), *Regeneración urbanística y territorial integrada*. Langreo, Asturias:
- Alonso Monterde, M., Benítez Jiménez, V., Guillén Guillamón, I., Higón Calvet, J. L., López Jiménez, P. A., & Pla Alabau, F. (2014). In Mesa de Estrategias de Diseño Sostenible (Ed.), *Guía de estrategias de diseño pasivo para la edificación* (Instituto Valenciano de la Edificación ed.). Valencia:
- Alonso Pereira, J. R. (1996). *Historia general de la arquitectura en Asturias*. (Colegio Oficial de Arquitectos de Asturias ed.). Asturias: FP Composición S.L.
- Arquitectura, O. S. (1955). Correspondencia de la Obra Sindical del Hogar y Arquitectura y de la Comisión de Viviendas. Avilés, Asturias.

Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). (2008). In  
Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) (Ed.), . Madrid.

ATECYR. (2008). Guía técnica de procedimientos y aspectos de la simulación de  
instalaciones térmicas en. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la  
Energía.

Ayuntamiento de Avilés. (2016). In Página web del Ayuntamiento de AVILÉS (Ed.), **Avilés  
recibirá 10 millones de euros de fondos feder** . Avilés:

Blanco González, H. (2013). In Consejería de Educación, Cultura y Deporte y Sistemas  
Gráficos Europa (Ed.), *Arquitectura sin arquitectos en Asturias. Maestros de obras y  
otros autores (1800-1935)* (Consejería de Educación, Cultura y Deporte ed.). Oviedo:  
Gráficas Eujoa SA.

Berg, C. (2016). *Volviendo a lo basico: psicometría y la carta psicometrica*. Boletín Técnico  
COLMAC COIL. Colville: Colmac Coil Manufacturing, I.

Comesaña Pereira, M., & Reyes Esmoris, P. A. (2015). In Máster universitario de  
Tecnologías de Edificación Sostenible (Ed.), *Análisis y modificación de archivos  
climáticos*. A Coruña.

Correia, M. (Abril 2016). In ENSAG-CRAterre, École Nationale Supérieure d'Architecture de  
Grenoble, Prof. Arch. Hubert Guillaud, Arch. Sébastien Moriset, Arch. Nuria Sánchez  
Muñoz, Arch. Enrique Sevillano Gutiérrez (Ed.), *VERSUS leccopmes del patrimonio  
vernáculo para una arquitectura sostenible* [Versus Contributo do patrimonio  
vernáculo para a arquitetura sustentável] (Arnaud Misse ed.). Vila Nova de Cerveira:  
ESG / Escola Superior Gallaecia.

Cuchí, A. (2016). Un nZEB para la rehabilitación. *GBCe y Grupo De Trabajo Por La  
Rehabilitación* , 93-94, 95.

Dapena de la Fuente, Enrique, & Fernández - Ceballos, A. (2007, Estudio del cambio climático y sus implicaciones en el cultivo del manzano en asturias.

De la Madrid, V., & De la Madrid, J. C. (2002). Cuando Avilés construyó un teatro. Avilés: Gráficas Summa S.A.

Del Río Legazpi, A. (2013, 07/07/2013). Lo chocante de algunos nombre que se dan en avilés. *La Voz De Avilés*,

Druot, F., Anne, L., & Vassal, J.-P. (2007). Plus La vivienda colectiva. Barcelona: Gustavo Gili S.L.

Departamento de Construcciones Arquitectónicas. (1998). Bioclimatism in vernacular architecture. In Escuela de Arquitectura Superior (Ed.), *Renewable and sustainable energy reviews* (Universidad Politécnica de Cataluña ed., pp. 67-67-87). Barcelona: Diagonal 649.

DesignBuilder Software Ltd. (2017). **Designbuilder**. Retrieved 10 de Marzo, 2017, from <https://www.designbuilder.co.uk/>

Díaz - Miranda y Macías, Felipe. (2009). La arquitectura del movimiento moderno 1925-1965 fundación DoCoMoMo ibérico. *Revista Anual De Historia Del Arte*, (15), 221-221-232.

Ejército, I. e. (18 de Enero de 2017). Bienvenidos al wiki de biotecnología industrial, from <https://procesosbio.wikispaces.com/>

Enrique Fidel. (2017). **Desarrollo urbano de Avilés (Asturias)**. Retrieved 03 de febrero, 2017, from <https://urbancidades.wordpress.com/2011/12/19/desarrollo-urbano-de-aviles-asturias/>

Fernández Molina, J. R., & González Moriyón, J. (1994). *La arquitectura del hierro en Asturias. trece mercados y otros edificios urbanos*. (Colegio Oficial de Arquitectos de Asturias ed.). Asturias: Eujoa Artes Gráficas.



- Fernández Riestra, F., & Marcos Fernández, J. *Aproximación a la arquitectura tradicional de los concejos de Cangas de Narcea, Ibias y Degaña (Asturias)*. SUMMA.
- Fernandez Salinas, V. (2012). Los paisajes de interés cultural de Asturias. *Departamento De Geografía Humana, Universidad De Sevilla*, 129-129-149.
- Gobierno del Principado de Asturias. (2017). *Archivo histórico de asturias*. Retrieved 03 de Marzo, 2017, from <http://www.archivosdeasturias.es/>
- Gonzalez Romero, J., & Muñoz Duarte, P. (2008). In Álvaro Díaz Huici (Ed.), *Arquitectura industrial en Gijón. la huella de una ausencia*. Gijón: Ediciones Trea, S.L.
- González Taboada, F., & Anadón Álvarez, R. (2011). In Gobierno del Principado de Asturias (Ed.), *Análisis de escenarios de cambio climático en asturias* (Gobierno del Principado de Asturias, Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras, Oficina para la Sostenibilidad, el Cambio Climático y la Participación ed.). Asturias.
- Groezienger, J., Boermans, T., Ashok, J., Seehusen, J., Wehringer, F., & Scherberich, M. (08 October 2014). In European Commission (Ed.), *Overview of member states information on NZEBs working version of the progress report - final report*. Germany.
- Hernández, A. (2013). In Instituto Politécnico de Bragança (Ed.), *Manual del diseño bioclimático urbano.recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas* [Manual de Desenho Bioclimático Urbano. Manual de orientações para a elaboração de normas urbanísticas] (GONÇALVES, Artur ; CASTRO, Antonio ; FELICIANO, Manuel ed.). Bragança.
- Lacaton, & Vassal. (2017). *Lacatonvassa*. Retrieved 07 de junio, 2017, from <http://www.lacatonvassal.com/>

Martínez, I. (1992). Termodinámica básica y aplicada. España: DOSSAT SA.

MetAs & Metrólogos Asociados. (Febrero 2005). Presión atmosférica, presión barométrica y altitud conceptos y aplicaciones. Jalisco, Mexico.

Bruse, Michel (2017). *Envi-met*. Retrieved 03 de Marzo, 2017, from <http://www.envi-met.com/#section/intro>

Morales Matos, G. (1980). Industrialización y crecimiento urbano en avilés. Revista Cuatrimestral De Geografía, , 151-151-178.

Nula, C. E. (2016). Libro de Comunicaciones del III Congreso Edificios Energía Casi Nula. Madrid: Grupo Tecma Red S.L.

Pérez Reyes, M. E., & Sosa Morales, M. E. (2013). Mecanismos de transferencia de calor que ocurren en tratamiento térmico de alimentos. *Temas Selectos De Ingeniería De Alimentos*, , 37-37-47.

Pulido, I. (2008, 26 de Octubre 2008). *Versalles, inmigración al cuadrado*. La Nueva España,

Ramos González, J. C. (2007). In Campus Tecnológico de la Universidad de Navarra (Ed.), *Fórmulas, tablas y figuras de transferencia de calor*. Donostia, San Sebastián: Tecnun.

Pintos Pena, S. (2017). Arquitectura pasiva. Retrieved 25 Agosto, 2017, from <http://arquitecturapasiva.paisaxescompletadas.com/arquitecturapasiva/>

Serra, R. (1999). *Arquitectura y climas* (1ª ed.). Barcelona: Gustavo Gili S.A.

Universidad de Oviedo. (2017). *el clima de asturias - el viento*. Retrieved 12 de febrero, 2017, from <http://www6.uniovi.es/~feli/Clima/Viento.html>

V Szokolay, S. (2008). In Elsevier (Ed.), *Introduction to architectural science the basis of sustainable desing* (2º ed.). Oxford: Architectural Press.

Velasco Roldán, L. (2011). In Ministerior de fomento (Ed.), *El movimiento del aire condicionante de diseño arquitectónico*. España:

Vidal de la Madrid, Juan Carlos. (noviembre 2002). *Cuando Avilés construyó un teatro* (TREA S.L. ed.). Gijón: TREA S.L.

## **ANEXOS**

VIDEO 3D PROPUESTA DE BARRIO

EMAIL – SIMULATION STEP

INVENTARIO DE ARBOLES ENCONTRADOS EN ENVI-MET

RESULTADOS SIMULACIÓN ZONA 1

RESULTADOS SIMULACIÓN ZONA 2

RESULTADOS SIMULACIÓN ZONA 3